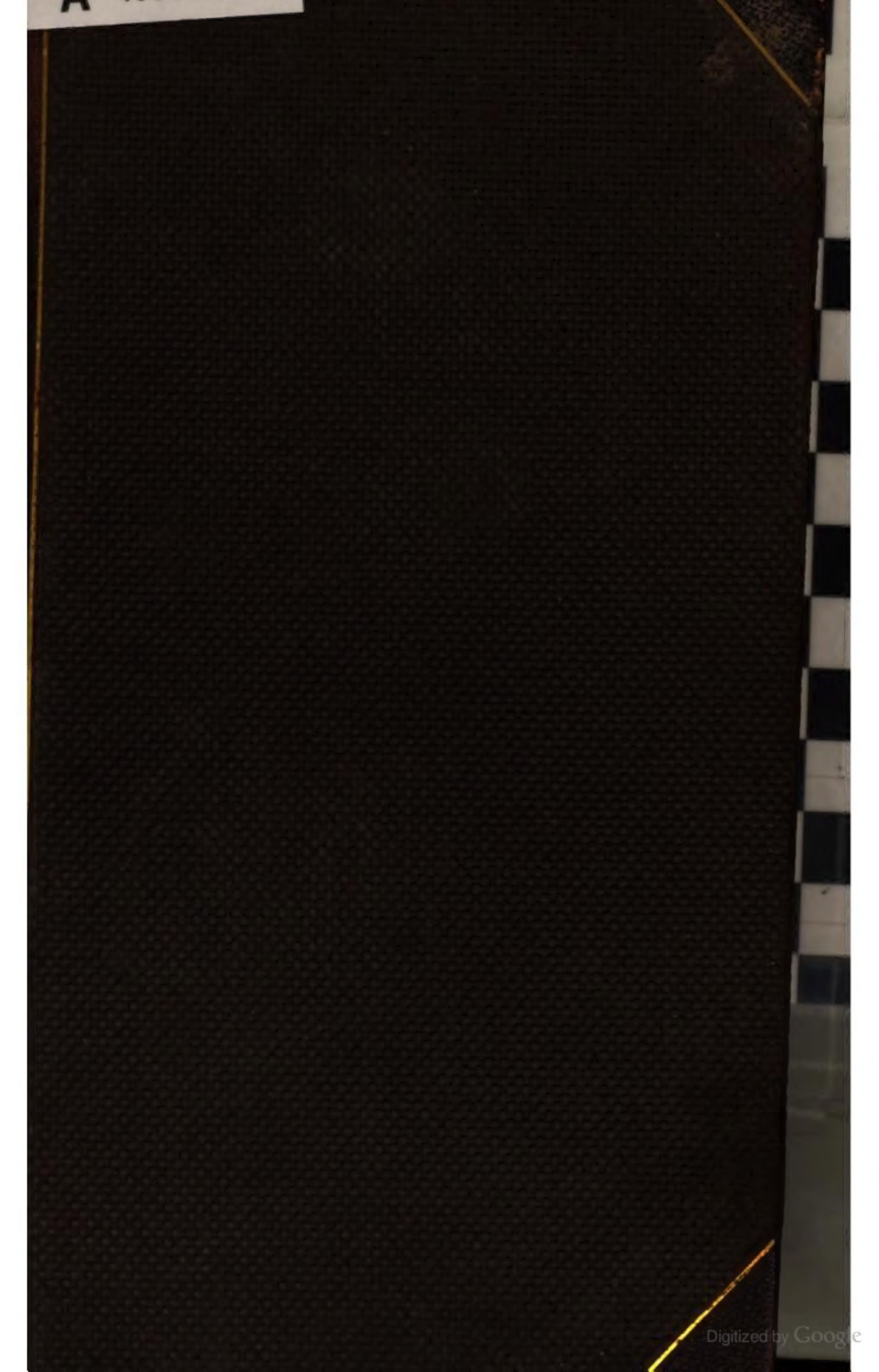
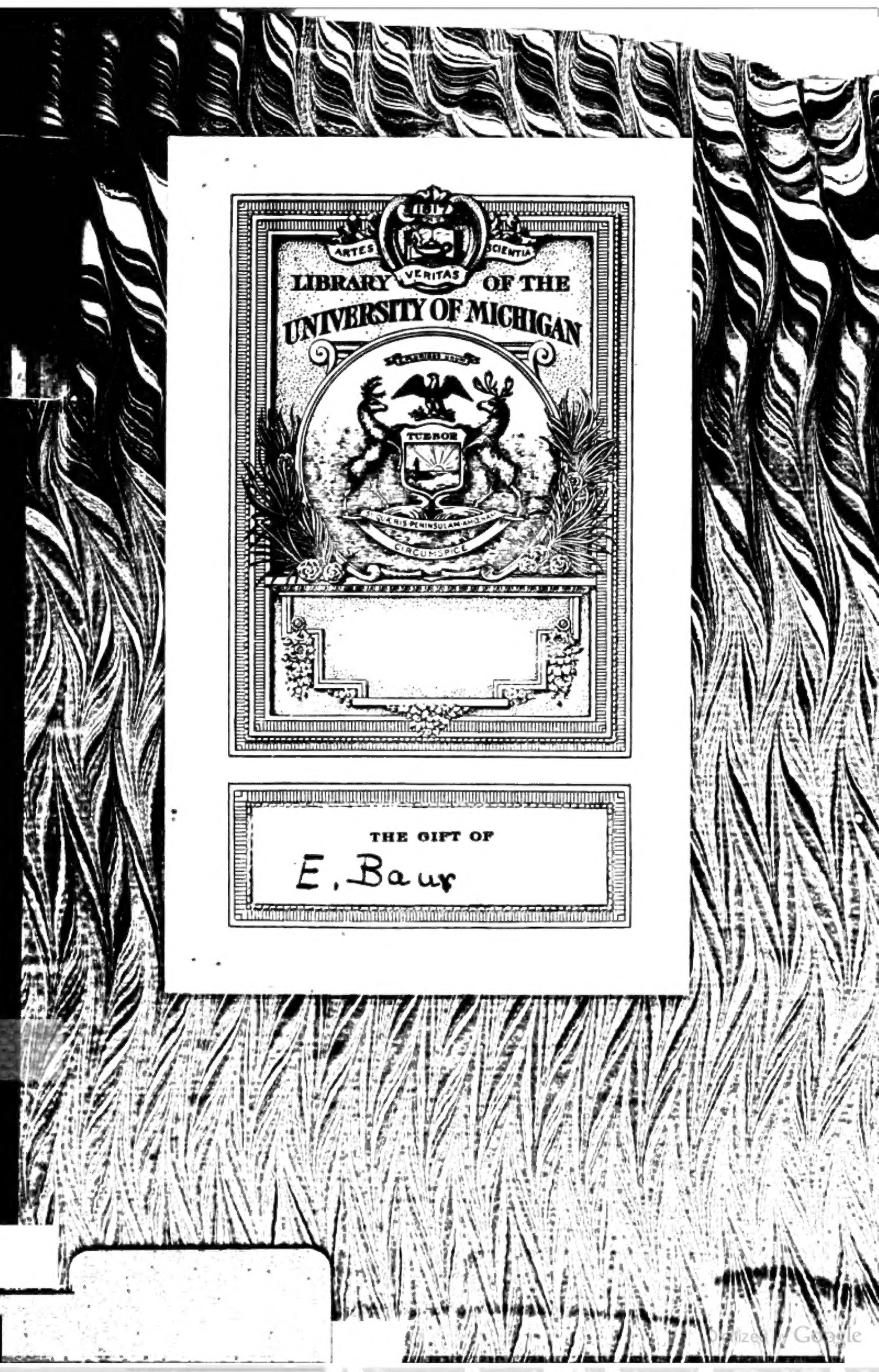

Digitized by Google



ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
CIRCUMSPICE
THE GIFT OF
E. Baur

Digitized by Google

Digitized by Google

BL
181
.K78

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Bauer
6/p

Gott in der Natur.

Digitized by Google

Gott in der Natur.

Die

Erscheinungen und Gesetze der Natur

im Sinne der Bridgewaterbücher

als Werke Gottes

geschildert

von

Dr. Otto Köstlin,

Professor der Naturgeschichte am k. Gymnasium zu Stuttgart.

Mit zahlreichen Abbildungen.

Erster Band.

Stuttgart.

1851.

Verlag von Paul Neff.

Digitized by Google

E. Barr
gt.
2 vols in 1.
4-17-1923

Schnellpressendruck von J. Kreuzer in Stuttgart

Digitized by Google

Vorwort.

Der Zweck der vorliegenden Schrift geht zwar schon aus den Worten des Titels deutlich hervor; doch erscheint es passend, ihn hier in Kürze noch genauer zu bezeichnen.

Die Beziehung Gottes zur Natur kann auf verschiedene Weise zum Gegenstande der Untersuchung gemacht werden. In philosophischen und wissenschaftlich-theologischen Schriften wird die Erörterung dieser Frage aus allgemeinen Grundsätzen der Wissenschaft oder der geoffenbarten Religion hergeleitet. Schriften, welche das menschliche Gemüth und seine religiösen Bedürfnisse allein im Auge haben, greifen aus dem Ganzen der Natur einzelne, besonders einleuchtende Beispiele heraus, um an diesen den Einfluß des Schöpfers nachzuweisen, um durch solche Beweise das Gemüth zu beruhigen und zu erheben. Der Weg, welchen die vorliegende Schrift verfolgt, weicht von den beiden, soeben bezeichneten Wegen ab. Nicht aus allgemeinen Voraussetzungen, sondern aus den Thatsachen der Naturbeobachtung

421800

Digitized by Google

selbst soll die Frage nach dem Verhältnisse Gottes zur Natur beantwortet werden. Hiebei sollen aber nicht blos einzelne Beispiele beigebracht, es soll nicht blos das religiöse Gefühl angeregt werden; sondern aus dem ganzen Gebiete der Naturwissenschaft versuchen wir Beweise aufzubringen, welche ebensowohl dem denkenden als dem fühlenden Menschen das Verhältniß Gottes zu der Natur deutlich machen. Die Erscheinungen und Gesetze der Natur sollen in Zusammenhang und Ordnung so dem Geiste des Lesers vorgeführt werden, daß sie auf einfache und klare Weise für das Wirken Gottes in seiner Schöpfung Zeugniß ablegen.

Es ergibt sich von selbst, daß dieser Zweck nur durch eine allgemein verständliche, der streng wissenschaftlichen Form entkleidete Darstellung erreicht werden kann. Die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Thatsachen können und sollen zu allen Gebildeten sprechen. Denn die Ueberzeugung ist jetzt allgemein geworden, daß eine Bekanntschaft mit der Natur, mit ihren Gesetzen und Formen für Jeden unentbehrlich sei, der sein Wissen über die nächsten Gränzen der täglichen Bedürfnisse ausdehnt. Je mehr indeß die Naturkenntniß sich verbreitet, desto wichtiger wird es, richtige Begriffe über das Verhältniß Gottes zu der Natur den Seelen der Menschen einzupflanzen. Gott ist nicht eine unbewußte, in der Natur gesetzmäßig wirkende Kraft; er ist nicht ein logischer Proceß, der sich in den Naturgesetzen ab-

Digitized by Google

wickelt. Gott muß vielmehr an die Spitze der ganzen Untersuchung als der bewußte und freischaffende gestellt werden. Daher führt sogleich die Einleitung aus, wie die verschiedenen Seiten des göttlichen Wesens in der Natur wirksam werden. Hiebei stellt die Schrift anderen Auffassungsweisen nicht weitläufige, theoretische Auseinandersetzungen entgegen; sondern sie sucht einfach durch die Thatsachen selbst zu beweisen, daß die Naturwissenschaft mit den Wahrheiten der geoffenbarten Religion wesentlich harmonirt.

Auf diesem Wege sollen zugleich Kenntnisse verbreitet, der Gesichtskreis der Denkenden erweitert, die Gemüther der Menschen beruhigt und die Seelen der Leser schärfer auf das Göttliche hingerichtet werden. Die Darstellung bewegt sich von den *allgemeinen Kräften* und Eigenschaften der Natur durch das Reich der *Gestirne* und durch das Reich des *Organischen* bis zu ihrem Gipfelpunkte, dem *Menschen*, weiter. Auf diesem Wege muß Vieles zur Sprache kommen, was auf das Leben des Menschen tiefen Einfluß ausübt. Insbesondere erscheint hier der Begriff der Individualität in den verschiedensten Gestalten, und am Ende der Untersuchung erhebt sich aus dem Kreise der Individuen die menschliche Persönlichkeit. *Ueber allen Einzelheiten aber steht als der Grund alles Existirenden der schaffende und erhaltende Gott; auf ihn weist die ganze Natur*

Digitized by Google

hin; zu ihm wendet sich vorzüglich der menschliche Geist.

Die Zusammenstellung der Thatsachen und die Ableitung der allgemeinen Resultate ist mit Schwierigkeiten verbunden, welche dem kundigen Leser nicht verborgen bleiben können. Aber es ist erlaubt zu hoffen, daß der Blick des Lesers sich über die Mängel des Einzelnen weg dem erhabenen Zwecke des Ganzen zuwenden werde. Dieser Zweck steht unverrückt vor dem Auge des Verfassers; er hebt sich in den Anfängen der Untersuchung vielleicht noch nicht für Alle ganz deutlich hervor; aber der fernere Gang und der Schluß der Schrift werden ihn mit voller Schärfe und Klarheit erscheinen lassen.

O. K.

Digitized by Google

Einleitung.

Das Gesetz des Herrn ist ohne Wandel und erquicket die Seele. Das Zeugniß des Herrn ist gewiß und macht die Albernen weise.

Psalm.

Franz Heinrich, Graf von Bridgewater, welcher im Februar 1829 starb, hatte in seinem Testamente achttausend Pfund Sterling ausgesetzt, um ein Werk zu veranlassen, welches die Macht, Weisheit und Güte Gottes, wie sie sich in der Schöpfung offenbaren, darstellen sollte. Die Bridgewaterbücher, welche in Folge dieses letzten Willens von bedeutenden englischen Gelehrten abgefaßt wurden, haben in England großen Beifall, zahlreiche Auflagen und vielfache Nachahmungen gefunden. Auch in Deutschland wurden sie mit der verdienten Anerkennung aufgenommen, und wir setzen an die Spitze dieser Schrift mit Zuversicht die Zusage, daß unsere Naturbetrachtung dem Sinne der Bridgewaterbücher treu bleiben werde. Der Stoff, welchen diese Bücher enthielten, ist seit ihrem ersten Erscheinen sehr verändert und erweitert worden; es ist an der Zeit, ihn noch einmal zu überschauen, und Zweck und Ziel des Ganzen dürften vielleicht sicherer im Auge behalten werden, wenn eine einzige Hand statt vieler das reiche, alte und neue Material zum Aufbau des erhabensten Denkmales sammelt und zusammenfügt.

Digitized by Google

Es ist ja in unserer Zeit, und vorzüglich in Deutschland, Sitte geworden, an allen Orten zu der Betrachtung und Untersuchung der Natur zu ermahnen; und in der That braucht es kaum bemerkt zu werden, wie wenig es eines Menschen würdig ist, unter dem glänzenden Gewölbe des gestirnten Himmels, durch die reichen Fluren der Erde und mitten unter der mannigfach bewegten Thierwelt als ein völlig Unwissender umherzuwandeln. Aber mit jenem Verlangen nach Naturstudium wird häufig kein ganz klarer Begriff von der Sache verbunden; und es ist doch höchst wichtig, über diese selbst ins Klare zu kommen, ehe wir die Naturwissenschaften in hohen und niedern Schulen als ein allgemeines Mittel der Bildung einführen wollen.

Im Ganzen wird die Natur auf zweierlei Weise Gegenstand der menschlichen Thätigkeit. Auf die eine Weise verfährt der Landmann, wenn er die nährenden Samen ausstreut, wenn er das Getreide oder die Früchte der Bäume sammelt; der Optiker, wenn er Instrumente zusammensetzt, welche durch die Schärfe ihrer Gläser den menschlichen Blick bis in ferne Weiten der Sternenwelt tragen; der Maschinenbauer, wenn er die Kraft des Dampfes zu den höchsten Leistungen, zur Fortbewegung großer Lasten, zum raschesten Durcheilen des Raumes benützt. Die andere Weise ist es, wenn der innere Bau, die Thätigkeit, die äußere Form der Naturkörper erforscht, und theils in fernen Ländern, theils im engeren Bezirke des eigenen Wohnsitzes der Zusammenhang der natürlichen Vorgänge, die geographische Vertheilung von Pflanzen und Thieren, die Einflüsse und Bedingungen des Klima's und der atmosphärischen Veränderungen ergründet werden. Wenn wir nun jene beide Weisen der menschlichen Thätigkeit, die praktische und die wissenschaftliche, ins Auge fassen, so entsteht zunächst die Frage, wie und wodurch denn jede von ihnen dem Menschen wahrhaft nützlich werden könne.

Für eine ziemliche Anzahl von Menschen ist die Natur nichts anderes als ein Gegenstand des Genusses, ein uner-

Digitized by Google

schöpflicher Quell der täglichen Bedürfnisse und Annehmlichkeiten; und gegenüber von solchen Leuten nimmt freilich der einfache Bauer, der niedere Handwerker eine viel höhere Stelle ein. Wo die Natur praktisch erfaßt, umgewandelt, geformt wird, da tritt der Geist des Menschen mit ihr in nähere Beziehung; sie bleibt nicht blos Mittel zur Befriedigung thierischer Begierden, sondern sie gestaltet sich in der menschlichen Hand zum Werkzeuge höherer, wahrhaft menschlicher Zwecke. Daher ist zu allen Zeiten und bei allen Völkern mit der ersten Entwicklung der Kultur auch das Bestreben entstanden, die täglichen Bedürfnisse des Lebens nicht geradezu aus der Hand der Natur anzunehmen, sondern Nahrung, Kleidung und Wohnung sich selbständig zu verschaffen und zuzubereiten. Aber erst der neueren Zeit ist es vorbehalten gewesen, die Kräfte der Natur zu den großartigsten Werken anzuwenden, Kleidung und Wohnung auf die kunstreichste Weise, durch zusammengesetzte Apparate zu gewinnen, über Land und Meer sicher und schnell sich fortzubewegen und den Trieb nach umfassender Kenntniß durch den Blick in die Fernen des Sternenhimmels und in die Tiefen des pflanzlichen und thierischen Baues zu befriedigen. Auf diese Weise ist in unserer Zeit eine Herrschaft über die Naturkräfte erlangt worden, von welcher die Weisen des Alterthums nichts geahnt hatten; diese Herrschaft ist in stetigem Wachsen, und es läßt sich mit Sicherheit hoffen, daß die fortschreitende Thätigkeit der künftigen Geschlechter dem menschlichen Leben noch mehr Reichthum und Mannigfaltigkeit der Mittel, dem menschlichen Geiste eine immer ausgedehntere Macht über die Gebiete der Natur erringen werde.

Die hohe Stufe der gewerblichen und industriellen Thätigkeit konnte nicht so leichten Kaufes erreicht werden, wie ein Landmann oder gewöhnlicher Handwerker die wesentlichen Grundsätze seiner Beschäftigung von Andern überkommt und selbst allmählig weiterbildet; sondern es gehörte ein mächtiger Aufschwung der Naturwissenschaften dazu, um sichere und umfassende

Digitized by Google

Auge des Menschen nicht hinreicht, Glaslinsen zusammengestellt, welche vergrößerte Bilder der Gegenstände hervorbringen; und auf ähnliche Weise fallen die Lichtstrahlen von den äußeren Dingen nicht unmittelbar auf unsere Sehnerven, sondern sie werden diesen erst durch die durchsichtigen Körper zugeführt, welche hauptsächlich unser Auge zusammensetzen. So gelingt es endlich in Hochöfen oder chemischen Fabriken ganz dieselben Substanzen hervorzubringen, welche als Produkte eines natürlichen Processes, als Mineralien, in der Erdrinde vorkommen.

Diese Vergleichungen reichen allerdings hin zu beweisen, daß die Erscheinungen in der Natur nicht durch unbekannte, unzusammenhängende, plötzlich hereinbrechende Ursachen oder Kräfte bewirkt werden, sondern daß sie auf dieselbe Weise, wie die Wirkung von Maschinen oder die künstliche Hervorbringung gewisser Stoffe, an eine bestimmte, fest zusammenhängende Reihe von Bedingungen geknüpft sind. Wenn wir z. B. die Niederschläge aus unserer Atmosphäre, Regen oder Schnee, beobachten, so wissen wir, daß sie von bestimmten Feuchtigkeits- und Wärmeverhältnissen der Atmosphäre abhängen, und wir können zum Voraus ziemlich genau bestimmen, welche Wirkungen sie selbst wieder in der Atmosphäre und auf der Erdoberfläche hervorrufen werden. Oder wenn wir am thierischen Herzen die Bewegungen näher untersuchen, so finden wir sie von den Nerven und von der Muskelsubstanz des Herzens und von dem richtigen Ein- und Austritt des Blutes abhängig; weiterhin sehen wir, daß vom Herzen aus der ganze Umlauf des Blutes durch den Körper bewirkt, also insbesondre Athmung und Ernährung möglich gemacht wird. Aber in mehreren wichtigen Beziehungen weichen doch die Bewegungen unserer Maschinen, die Zersetzungen und Verbindungen von Stoffen, welche wir in unsern chemischen Laboratorien bewirken, von den Bewegungen und chemischen Processen in der Natur bedeutend ab.

Einmal sind die natürlichen Vorgänge viel verwickelter

Digitized by Google

Vermögen aber die Naturwissenschaften nicht noch mehr? sollten sie von so vielen und bedeutenden Gelehrten blos darum gepflegt werden, um den Bau von Dampfmaschinen, die Erzeugung feiner Gewebe, die Bereitung von Farb- oder Arzneistoffen möglich zu machen? Allerdings hat das angestrengte Studium der Natur nicht blos die Hilfsmittel des täglichen Lebens erweitert, sondern auch geistige Schätze zu Tage gefördert, welche sich immer mehr auch außerhalb des Kreises der gelehrten Naturforscher verbreiten. Schon die frühesten Völker haben ja geahnt, daß die Natur keine unordentliche, vom Zufall regierte Masse, sondern ein fest verbundenes, durch Gesetze bestimmtes Ganzes sei; zu unserer Zeit hat die Naturwissenschaft diese Gesetzmäßigkeit so vollständig aus Thatsachen bewiesen, daß auch für den größten Skeptiker und für den einfachsten Verstand kein Zweifel mehr übrig bleibt. So erkennen wir, daß wir mit der Natur nicht blos insofern zusammenhängen, als sie uns Mittel und Werkzeuge darbietet, um unsere leiblichen Bedürfnisse zu befriedigen; sondern unser Geist selbst, welcher in sich ein Verlangen nach Regel und Zusammenhang hat, empfindet Befriedigung durch den Anblick der tiefen Ordnung in den natürlichen Dingen.

Man sucht gewöhnlich die Gesetzmäßigkeit der Natur deutlich zu machen durch Vergleichung mit der Zusammensetzung künstlicher Maschinen und Instrumente. So stehen in einer Dampfmaschine die Menge des verbrauchten Brennmateriales zur Quantität und Spannung des erzeugten Wasserdampfes und wiederum die beiden letzteren Momente zur Bewegung der Maschine in einem sehr genauen Verhältnisse; so hängt der Gang einer gewöhnlichen Wanduhr aufs Wesentlichste von der Wirkung des Pendels und Gewichtes ab; und es wird später gezeigt werden, daß mit den Bewegungen jener Maschinen die Bewegungen der Thiere vielfache Aehnlichkeit haben. So werden fernerhin zur Beobachtung sehr kleiner Gegenstände oder zum Blick in die Ferne, also überall da, wo das unbewaffnete

Digitized by Google

fang weit über das Gedächtniß einzelner Menschen oder des ganzen menschlichen Geschlechtes hinausliegt. Und wie die einzelnen Naturkörper oder Naturprozesse sich verhalten, so verhält sich auch die Natur als Ganzes; ihre Entstehungsweise liegt unbedingt jenseits des Gebietes unserer menschlichen Erfahrung; denn der Mensch selbst bildet vermöge seiner natürlichen Existenz nur das Glied in einer der unzähligen Reihen von Erscheinungen, welche das Ganze der Natur in sich zusammenfaßt. Ist, wenn wir die Vergleichung mit der Maschine festhalten, aus allem diesem nicht der Schluß erlaubt oder vielmehr nothwendig, daß auf dieselbe Weise, wie der Mensch Instrumente und Maschinen baut, so auch ein ganz anderer Meister dieses ganze, in sich zusammenhängende Werk der Natur gebaut, daß er dabei mit der höchsten Einsicht in die innere Einrichtung und in die Zwecke seines Werkes verfahren habe?

Hier bleibt aber noch ein Punkt von großer Wichtigkeit zu erörtern übrig. Wenn eine Maschine ihren Dienst gethan hat, so steht sie still; oder wenn sie abgenützt ist, so hört ihre Wirksamkeit völlig auf; also nicht blos die Entstehung, sondern auch den Untergang unserer Maschinen und Instrumente können wir alltäglich ohne Mühe beobachten. Aber jeder Vorgang in der Natur hängt nicht blos mit vorausgegangenen Vorgängen wesentlich zusammen, sondern wenn er auch abgelaufen zu sein scheint, so gibt er doch immer den Anstoß zu neuen Vorgängen. Dieses Gesetz trifft in der Natur überall zu; aber es ist nirgends deutlicher, als bei den Pflanzen und Thieren, welche selbst wieder Pflanzen und Thiere hervorbringen, d. h. von sich aus wieder den Anstoß zur Entstehung neuer, ihnen ähnlicher Körper geben. Man könnte in dieser Beziehung sagen, die Natur gleiche einer sehr zusammengesetzten, unendlich lang wirkenden Maschine, in welcher die Bewegung des einen Theiles immer wieder den Anstoß zu neuen Bewegungen anderer Theile gebe. Dieß würde aber doch das

Digitized by Google

wahre Verhältniß nicht ganz ausdrücken; die Natur ist kein bloses Uhrwerk, welches am Tage der Schöpfung aufgezogen worden ist und seither seinen regelmäßigen Gang einhält. Dieses möchte durch die folgende Auseinandersetzung klarer werden. Es kann als allgemein bekannte Thatsache gelten, daß die Erde nicht zu allen Zeiten von denselben Thiergeschlechtern bewohnt war; große Thiere, Ichthyosauren, Mammuthe, Mastodonten sind ausgestorben, und an ihre Stelle sind andre, früher nicht vorhandene Thierformen getreten. Aus diesem einzigen Beispiele geht schon hervor, daß die Natur sich nicht in dem einförmigen Gange einer Maschine fortbewegt, sondern daß in ihr zu verschiedenen Zeiten verschieden gestaltete Körper entstanden sind. So geschah es vor allem im Anfange, als mit jeder neuen Umwälzung der Erdoberfläche neue pflanzliche und thierische Gestalten auftraten, als am Ende der Umwälzungen der Mensch auf dem für ihn vorbereiteten Boden als ein neues Geschöpf entstand; so geschieht es aber noch heute überall, wo die Natur geformte Körper hervorbringt. Kein Stein zeigt völlig dieselbe Krystallform, wie früher oder später entstandene Steine; keine Pflanze und kein Thier gleichen völlig anderen, wenn auch sonst nächst verwandten Individuen. Und hierin liegt das eigentliche Geheimniß der Schöpfung. Das Spiel der Naturkräfte können wir berechnen, ihre Wirkungen vorhersagen, die Bewegungen der Gestirne vorausbestimmen; aber die Gestalten der Körper entgehen unserer genaueren Berechnung; wir wissen nicht, warum der Ableger einer Rose zwar auch wieder Rosen, aber von etwas abweichender Gestalt trägt, warum das Junge einer Katze oder eines Hundes in manchen Eigenschaften seinen Eltern unähnlich ist.

Der Mensch vermag wohl Maschinen zu gestalten, aber mit der ersten Gestaltung ist die Form der Maschine abgeschlossen, und in dieser Form bewegt sie sich während ihres ganzen Bestehens fort. Der Meister, welcher die Natur zuerst

Digitized by Google

gebildet hat, entließ sie nachher nicht aus seiner Hand; sondern wie er ihr im Anfang Form gab, so wirkt er in jedem Momente und an jedem Punkte fort, und ruft in ihr ununterbrochen neue Gestalten hervor. Und dieß hängt in beiden Fällen aufs innigste mit der Entstehungsweise zusammen. Der Mensch nimmt den Stoff zu seinen Werken aus der ihn umgebenden Schöpfung; dieser Stoff gehorcht ihm nur auf kurze Zeit, und kehrt bald wieder zu denjenigen Formen zurück, welche ihm von Natur eigenthümlich sind. Aber der Bildner der Natur hat seinen Stoff nicht von außen her genommen, sondern mit der ersten Form auch den Stoff erschaffen. Daher sucht das Erschaffene sich keine eigenen Weisen der Gestaltung; sondern jede neue Form wird durch den fortdauernden Einfluß des ersten Schöpfers hervorgebracht.

Wir treten mit diesen Erörterungen dem Kern unserer Aufgabe näher. Die Natur ist für uns nicht ein wüstes, dem Zufall hingegebenes Chaos, sondern ein zusammenhängendes, wohl geordnetes Ganzes; sie ist nicht eine Maschine, welche am ersten Tage in Bewegung gesetzt wurde, und seither nur von Zeit zu Zeit Ausbesserungen durch ihren Baumeister bedurfte, sondern ein göttliches Werk, in welchem die ursprüngliche Kraft des Meisters erhaltend und schaffend fortwirkt. Daß Gott die Welt erhält, ist jedem Verstande einleuchtend; denn die tägliche Erfahrung zeigt, daß durch eine gemeinsame Ursache das Ganze der Natur in seinem Bestehen gesichert wird. Auch der Untergang einzelner Naturkörper scheint unserem Denken nichts Unerklärliches zu haben; denn wir sehen es mit an, wie Pflanzen, Thiere, Menschen allmählig im Ganzen oder in einzelnen Organen abnehmen, wie endlich ihr Zustand ein solcher wird, daß jeder zugesteht, es sey ihre Fortdauer nicht mehr möglich. Aber auf welche Weise nach dem Untergang der alten Formen neue, von den alten abweichende entstehen, dieses liegt über die Gränze des gemeinen Verstandes hinaus; und doch drängt sich uns bei der tieferen Unter-

Digitized by Google

suchung der Natur die Nothwendigkeit auf, zur Ergänzung der erhaltenden Kraft auch eine schaffende, Neues hervorbringende Kraft in der Natur anzuerkennen. Beide Kräfte haben ihren Ursprung in Gott; und während der erhaltende Gott in der Mitte seines Werkes bleibt und das Erschaffene bewahrt, steht der schaffende Gott frei über der Welt, zertrümmert die alten Formen und bildet wieder neue Gestalten. Im Anfang der Dinge überwog die schaffende Thätigkeit die erhaltende; seit der Entstehung des Menschen haben die Hauptformen der Geschöpfe sich wenig oder gar nicht geändert; aber das Schaffen ruht darum nicht, sondern dauert in beschränkteren Kreisen, im Einzelnen und Kleinen ununterbrochen fort.

Wir haben früher gesagt, daß der Erbauer einer Maschine die einzelnen Theile derselben nicht zwecklos, sondern mit einer bestimmten Absicht, zur Hervorbringung eines bestimmten Effektes zusammensetze. Wir müssen in unendlich höherem Sinne annehmen, daß Gott in der Natur von Anfang an und noch jetzt nach bestimmten Zwecken wirkt. Diese Zwecke sind der gemeinsame Grund der Gesetzmäßigkeit in der Natur; sie werden ausgeführt bald durch Erhaltung des Geschaffenen, bald durch Untergang des Alten und Entstehung des Neuen. Wenn also der menschliche Geist überhaupt im Stande ist, die wahre Ordnung in der Schöpfung zu erkennen, so erhebt er sich eben damit auch zur Anschauung der göttlichen Zwecke. Aber wie der Mensch weder die ganze Natur, noch irgend einen einzelnen Naturkörper nach allen Beziehungen zu begreifen vermag, so versteht er als ein einzelnes Geschöpf die göttlichen Zwecke in der Natur nur stückweise. Das Maaß, welches er an die natürlichen Dinge anlegt, ist ein beschränktes; Gott allein hat das absolute Maaß, durch welches jedes Erschaffene nach allen Richtungen gemessen und erkannt wird.

Es ist die Aufgabe dieser Schrift, den göttlichen Zwecken in der Natur nachzuforschen. Im Einzelnen dürfen wir bisweilen glauben, ihre Wege mit Sicherheit zu verfolgen; aber

Digitized by Google

auch im Allgemeinen läßt sich Einiges von der Art und Weise sagen, wie sich die göttlichen Gedanken in der Natur offenbaren.

Vor allem muß dem verbreiteten Vorurtheile begegnet werden, daß in der ganzen Natur sich alles um das einzige geistige Geschöpf, um den Menschen drehe, daß der gestirnte Himmel um unseres Sonnensystems, dieses um der Erde und die Erde selbst nur um des Menschen willen geschaffen sei. Wer auf diese Weise den Menschen zum Endzwecke und Mittelpunkte der Schöpfung macht, der handelt nicht anders als jene Philosophen, welche, indem sie den menschlichen Geist für den höchsten und absoluten erklären, die Existenz aller Dinge aus ihm allein logisch ableiten zu können meinen. Allerdings steht der Mensch auf unserer Erde an der Endspitze des Thierreiches, und alle Thierformen, welche vor der Entstehung des Menschen auf der Erde gelebt haben, können als Vorstufen zu der höchsten menschlichen Form, demnach der Mensch als das Endziel der Entwicklung des Thierreiches angesehen werden. Ueberdieß steht der Mensch der ganzen übrigen, uns bekannten Schöpfung als das einzige bewußte Wesen gegenüber. Aber er gehört troß allem diesem doch dem Kreise der Schöpfung an; und warum sollten nicht auch auf andern Gestirnen menschenähnliche, vielleicht noch vollkommener gebildete Geschöpfe leben und denken? Für uns schließt sich die Schöpfung eben nur deßwegen mit dem Menschen ab, weil unsere Erfahrung kein anderes, ähnliches oder höheres geistiges Geschöpf uns darbietet; wir bleiben deßwegen bei der Beurtheilung der Natur auf die Gränzen unserer eigenen Geistesthätigkeit beschränkt; aber wir betrachten darum unser Geschlecht nicht als den Mittelpunkt, sondern als ein einzelnes Glied in dem großen Ganzen.

Um einen Einblick in die Erfüllung der göttlichen Zwecke in der Natur zu erhalten, ist es gut, zuerst die Weise ins Auge zu fassen, wie der Mensch seine Zwecke ausführt. Wenn eine Maschine in Bewegung gesetzt wird, um eine bestimmte

Digitized by Google

Wirkung hervorzubringen, so arbeiten alle einzelnen Theile der Maschine nur nach Einem Punkte hin; jedes Stück der Lokomotive hat nur insoferne Wichtigkeit, als es mithilft, die Räder zu bewegen; Pendel und Gewicht wirken nur zusammen, um die Zeiger der Uhr in richtigem Gang zu erhalten. Ist es auch so bei den Naturkörpern? Durchläuft die Pflanze nur darum alle die mannigfaltigen Formen des Stengels und des Blattes, welche wir von der Wurzel bis zur Blüthe unterscheiden, um zuletzt nach der Bildung einer Frucht abzusterben? Hat das Thier den ganzen Reichthum seiner Bewegungen und Thätigkeiten nur dazu erhalten, um ein neues Thier seiner Art hervorzubringen, welches auf dieselbe Weise den inhaltlosen Weg von der Geburt bis zum Tode zurücklegt? oder ist Thier- und Pflanzenreich zu keinem andern Zwecke vorhanden, als um dem menschlichen Geschlechte Nahrung und Genüsse zu gewähren?

Auch in dieser Beziehung ist die Natur von den menschlichen Erzeugnissen wesentlich verschieden. Jeder Naturkörper steht allerdings in Beziehung mit allen übrigen, jede einzelne Erscheinung greift in alle andern mittelbar oder unmittelbar ein. Aber kein Ding in der Natur ist blos um Anderer willen vorhanden; sondern jedes besteht vor Allem um seiner selbst willen, und seine Beziehung zu den übrigen Dingen ist eine gegenseitige, so daß diese ebensowohl seinetwegen, als das einzelne Ding der übrigen wegen existirt. Dieß ist das große Gesetz des Zusammenhangs in der Natur. Jedes Geschöpf wirkt für die Zwecke der Gesammtheit, und wird in seinen eigenen Zwecken von der Gesammtheit unterstützt; aber es paßt in die Gesammtheit nur in so fern, als es seine eigenen Zwecke erfüllt. Pflanzen und Thiere gewähren dem Menschen Nahrung; aber sie vermögen dieses nur dann, wenn sie auf ihre eigene Weise sich vollständig entwickelt haben. Die Erde wird zum günstigen Boden für das Wachsthum der Pflanzen nicht durch menschliche Hand, sondern durch Zertrümmerung, Verwitterung, Aufschließung ihrer Oberfläche, also durch Verän-

Digitized by Google

derungen, welche auch ohne Einwirkung des Menschen oder der Thiere oder Pflanzen zu Stande kommen. Und was von den Geschöpfen gilt, das gilt auch von ihren einzelnen Zuständen oder Thätigkeiten. Jede Form, welche die Pflanze von ihrem ersten Erscheinen bis zur Bildung der Frucht annimmt, ist zwar nur im Zusammenhang des Ganzen völlig zu verstehen; aber sie hat auch für sich Sinn und Zweck. Das Thier bewegt zwar seine Glieder, um Nahrung zu erlangen; aber darum ist doch die Ernährung nicht der Zweck seiner Bewegungen; sondern die Thätigkeit der Glieder hat zunächst ihren Zweck in sich; sie wird von allen Seiten her, so namentlich von der Ernährung unterstützt, und sie wirkt selbst zu den Zwecken aller übrigen Organe, nicht blos der Ernährungsorgane, mit.

Die Geschöpfe sind demnach in Gottes Hand nicht wie menschliche Werkzeuge, welche irgendwoher genommen, zu einem Zwecke gebraucht und dann weggeworfen werden, welche also an sich gar nichts gelten; sondern in jedem einzelnen Geschöpf offenbart sich, nur in einer besondern Weise, die Fülle der göttlichen Gedanken. Das Leben der Geschöpfe eilt rasch vorbei; aber nicht erst am Ende, sondern in jedem Augenblicke, im ganzen Verlaufe ihres Lebens erfüllen sie die Zwecke des Schöpfers, und wo das eine Geschöpf untergeht, tritt unmittelbar ein anderes an seine Stelle, um von neuem und in eigenthümlicher Art den göttlichen Inhalt der Schöpfung zu offenbaren. Der göttliche Geist greift nicht einzelne Theile aus der Natur heraus, um sich daran zu erproben, sondern er durchdringt die Natur in allen ihren Tiefen; daraus entspringt das innere Band, welches alle Bewegungen, Thätigkeiten, Veränderungen der Naturkörper auf unerklärliche Weise verbindet, welches verschiedenartige, scheinbar widerstrebende Kräfte zur harmonischen Wirkung vereinigt. Darum ist für uns der Weg der Naturforschung klar und aussichtsvoll; denn wir wissen, daß jede anspruchslose Beobachtung uns einen neuen Blick

Digitized by Google

gewährt in die innere Ordnung der Natur, daß in jedem Körper, in jeder Erscheinung göttliche Gedanken für uns zu ergründen sind.

In menschlichen Dingen pflegt man denjenigen weise zu nennen, welcher seine Handlungen so einrichtet, daß sie zur Erreichung seiner Zwecke dienen. Im höchsten Sinne müssen wir den Schöpfer als weise erkennen, welcher den großen Bau der Natur mit unbegreiflicher Vollkommenheit für die Erreichung seiner Zwecke gebildet hat. Früher haben wir Gott in der Natur als den schaffenden und erhaltenden erkannt. Jetzt ist es möglich, beides in dem Schlusse zusammenzufassen, daß Gott sich überall in der Natur als den Allmächtigen und Allweisen offenbart.

Hier eröffnet sich uns aber ein neuer Blick in die schöpferische Thätigkeit Gottes. Der Mensch, der seine Werkzeuge und Maschinen für bestimmte Zwecke einrichtet, strebt darnach, ihnen die Weise ihrer Thätigkeit und ihrer Benützung so genau als möglich vorzuschreiben. Wie aber der Schöpfer aus der Fülle seiner Macht jedem Geschaffenen eine neue Gestalt gibt, so bindet er keines an einen mathematischen oder streng logischen Gang der Thätigkeit und Entwicklung; sondern er läßt jedem in seiner Art eine gewisse Möglichkeit der freien Bewegung zu. Jede Pflanze sucht für sich kleine Abweichungen in der Ausbildung ihrer Formen; jedes Thier bewegt sich frei nach seiner Willkühr. Aber alle diese Freiheit geht nicht über das Maaß hinaus; sie erzeugt nicht Verwirrung, sondern in der Ordnung des Ganzen eine Mannigfaltigkeit und Beweglichkeit, welche den Erzeugnissen der menschlichen Kunst und Industrie fehlt. Es thut unserem Geiste wohl, in einem Reiche zu leben, wo nicht despotische, unwandelbare Gesetze das Leben und die Thätigkeit der Einzelnen einengen; wir fühlen, daß im Reiche der Natur mit der Macht und Weisheit auch die Güte waltet. Diese dritte göttliche Eigenschaft offenbart sich deutlich in der Natur; aber sie wirkt im Reiche der Sittlichkeit und

Digitized by Google

des freien Willens auf eine noch höhere und umfassendere Weise.

Wir haben in dem Bisherigen zu zeigen versucht, wie die Betrachtung der Natur zur Anerkennung eines göttlichen Wesens führt, welches der Grund der Entstehung, der Fortdauer, der Mannigfaltigkeit und der Harmonie der natürlichen Dinge ist. Gott selbst wird nicht Gegenstand unserer natürlichen, leiblichen Erfahrung; daher läßt sich sein Dasein auch nicht mit mathematischer Strenge aus der Natur beweisen. Aber es muß aufs Entschiedenste hervorgehoben werden, daß die Anerkennung eines allmächtigen, allweisen und allgütigen Schöpfers keineswegs den Ergebnissen der Naturwissenschaft widerspricht, daß sie vielmehr allein im Stande ist, die dauernden Lücken unserer Erfahrung zu ergänzen, und dem Ganzen, wie den einzelnen Theilen der Schöpfung ein kräftiges Leben einzuhauchen. Daher ist die Naturwissenschaft so wenig als die Natur selbst vom Göttlichen abgewandt. Einige Forscher suchen zwar nicht geradezu die göttlichen Gedanken und Zwecke in ihr auf; aber indem sie ohne eine weitere Absicht Thatsachen sammeln und aus ihnen Gesetze ableiten, folgen sie alle den göttlichen Schritten und tragen Steine zu dem erhabenen Baue der Wissenschaft zusammen, in welchem die Weisheit, Macht und Güte des Schöpfers angeschaut werden soll.

Der menschliche Geist findet also in der Natur nicht blos einzelne, nicht weiter zusammenhängende Gesetze und Regeln; sondern überall treten ihm dieselben göttlichen Zwecke entgegen, welche den wesentlichen Grund seiner eigenen Existenz ausmachen. Er fühlt sich in der großen Schöpfung als einzelnes Geschöpf, in der harmonischen Ordnung des Ganzen als ein nothwendiges Glied. Und wenn der Mensch in die Natur keine Regeln und Gesetze erst hineinzutragen braucht, wenn in der Natur ebensogut als im Menschen der göttliche Geist wirkt, wo bleiben dann die hergebrachten Vorwürfe, welche man der Naturwissenschaft wegen ihrer materiellen und gottlosen Richtung

Digitized by Google

gemacht hat? Freilich wird man durch Naturforschung ebensowenig als durch Mathematik, Geschichte, alte Sprachen, schöne Künste zu einem religiösen Menschen, zu einem Christen, und eine Naturreligion ist vom Christenthum gleich weit entfernt, als eine Vernunft- und Kunstreligion; aber wer zum voraus Religion hat, der wird durch die Anschauung der Natur in seiner Ueberzeugung von der Weisheit, Macht und Güte des Schöpfers bestärkt, und wer zur Religion in Schule oder Haus erzogen werden soll, für den wird die Kenntniß der Natur zu einer neuen Triebfeder und Stütze seiner Religiosität.

Daher sollen allerdings die Naturwissenschaften in unsern Schulen gelehrt und durch populäre Darstellung auch den Erwachsenen zugänglich gemacht werden. Der Mensch gewinnt in Gewerben und Industrie immer mehr Macht über die Kräfte der Natur; er muß auch einsehen, daß er nicht über der Schöpfung steht, sondern daß er, wie Thiere, Pflanzen und Steine, nur ein Geschöpf des göttlichen Meisters ist. So wird er weder die Natur für eine geistlose Masse, noch sich selbst für ein geistig unbegränztes Wesen halten; er wird weder ein Sklave leiblicher Bedürfnisse und Genüsse werden, noch die Begriffe seiner eigenen Vernunft an die Stelle der göttlichen Gedanken setzen.

Die Zeit, in der wir leben, ist ernst und düster; die Schwäche der menschlichen Gedanken und Pläne hat sich mehr als je gezeigt; die politischen und geselligen Zustände sind durch menschlichen Rath in eine solche Verwirrung gekommen, daß kaum noch Jemand wagt, auch nur ein Heilmittel vorzuschlagen. Wir behaupten nicht, daß die Naturwissenschaft für sich im Stande sei, die tiefen Schäden der Zeit zu heilen; aber wo der ganze Körper krank ist, da muß von allen Seiten Hilfe versucht werden, und neben andern Mitteln vermag auch die Naturwissenschaft kräftig zu wirken. Die Betrachtung der Natur läßt uns mehr als irgend etwas Anderes die Unmacht des menschlichen Willens und Verstandes fühlen. Wir glauben, auf

Digitized by Google

uns selbst zu stehen und mit Freiheit über die Naturkräfte zu verfügen; aber der Strom, der alles Geschaffene umschließt, reißt auch uns unwiderstehlich mit sich fort. In unsern höchsten Bestrebungen kommen wir nicht über den Bann hinaus, der uns an das große Ganze der Natur fesselt; wir denken und handeln, wir dichten und philosophiren nur innerhalb der Gränzen, welche unsere Stellung in der Schöpfung uns anweist. Aber diese Abhängigkeit gibt uns zugleich in jeder Unternehmung ein hohes Gefühl von Sicherheit. Unser Boden schwankt nicht unter unsern Füßen, sondern die Grundlage unseres Lebens, unseres Dichtens und Trachtens ist eine Welt, welche in Gottes Hand ruht, welche von göttlichen Gedanken durchdrungen und geordnet ist. Wo wir uns auf diese Grundlage stützen, wo wir mit unsern Gedanken an die göttlichen, in der Natur verwirklichten Gedanken, an die Gesetze und Zwecke der Natur uns anschließen, da sind wir sicher, unsere Gedanken auf die rechte Weise zu verwirklichen. Die Naturkenntniß macht zwar den Unsittlichen nicht sittlich; aber die Zwecke der höchsten Sittlichkeit werden von demjenigen am besten erreicht, der sich klar bewußt ist, daß die Natur, in welcher er wirkt und schafft, nicht eine wüste Masse, sondern mit dem Menschen selbst durch ihren göttlichen Ursprung und Inhalt genau verwandt ist. Auf diese Weise wird auch die Naturkenntniß zum Heile des Ganzen beitragen; während sie den Wohlstand der Völker befördert, wird sie durch die Ueberzeugung von einem weisen, mächtigen und gütigen Weltschöpfer die Seelen der Menschen bessern, die Gemüther beruhigen und die Geister über die Gemeinheit und das Elend des täglichen Lebens emporheben.

Erster Abschnitt.

Die allgemeinen Eigenschaften und Kräfte der Natur.

— Und was in schwankender Erscheinung
schwebt,
Befestiget mit dauernden Gedanken!

Göthe.

Der Mensch steht nicht unabhängig in der Mitte der Natur; er fühlt deutlich, daß sein Leben von allen Seiten durch Einflüsse der natürlichen Dinge bestimmt, und zwar theils befördert theils beeinträchtigt wird. Der Eindruck des Lichtes erweckt und erhöht seine Thätigkeit. Mit der Wärme der umgebenden Luft wechselt seine Kleidung und Beschäftigung. Der Blitz zerstört die Wohnungen des Menschen oder sein eigenes Leben. Strömungen der Gewässer unterstützen Gewerbe und Handel oder vernichten die Schöpfungen des menschlichen Fleißes. Luftströmungen, Winde, Stürme wirken auf ähnliche Weise bald heilsam, bald vernichtend ein. So reißen die Bewegungen der äußeren Dinge den Menschen gewaltsam mit sich fort. Wenn aber das Leben aus seinem Körper gewichen ist, so wird dieser durch den Proceß der Verwesung in andere Substanzen verwandelt; und auf dieselbe Art zerstört das Feuer menschliche Wohnungen, weite Waldstrecken, indem es die brennbaren Stoffe, aus welchen jene bestehen, zuerst zersetzt und dann nach neuen Regeln wieder verbindet.

Was sind diese Mächte, welchen der Mensch während seines Lebens unterthan ist? Sind Licht, Schall, Wind, Wasser,

sind die Kräfte, welche Stoffe zersetzen und verbinden, eigene, selbständige Wesen, welche auf die ganze Existenz des Menschen einen dauernden und tiefen Einfluß ausüben? Diese Deutung bietet sich dem gewöhnlichen Verständnisse zuerst dar; sie macht sich in jedem Kinde, in jedem völlig Ungebildeten geltend. Aus dieser Deutung sind viele bezeichnende Züge in den ersten Religionen der Völker hervorgegangen.

Es war dem einfachen Sinne der ältesten Völker angemessen, sich mit der umgebenden Schöpfung innig verwandt zu fühlen; Winde, Gewässer, Töne berührten sie als Geschöpfe eines und desselben Gottes, als Wesen von ähnlicher Bildung. Je nachdem die Naturkräfte günstig oder ungünstig wirkten, erschienen sie den Menschen befreundet oder feindlich, und wie man andere Menschen durch Geschenke freundlich zu erhalten oder zu versöhnen sucht, so wurden den Winden, den Gewässern Geschenke dargebracht. Darum stand aber doch über dem Menschen und der umgebenden Schöpfung der Eine Gott, dessen Sein und Wirken die kindlichen Völker zwar nicht erkannten, aber doch in ihrem Innern und in der Natur fühlten. Diese Anschauungsweise ist bei keinem der jetzt lebenden Volksstämme mehr gefunden worden; aber man entdeckt von ihr überall noch Spuren. So stand in Griechenland auf einem Hügel in Sicyon und auf dem Markte zu Koronea ein Altar der Winde. So beteten die alten Deutschen am Ufer der Flüsse und ehrten Quellen durch brennende Lichter und Opfergaben. Bald wurden aber die Naturkräfte nicht mehr in ihrer einfachen und gewöhnlichen Erscheinung verehrt; sondern man stellte sie in anderen, entlehnten Gestalten dar. So werden jene Kräfte von den Negerstämmen Afrika's ebenso in Steinen oder Holzklötzen, als in Thieren oder Pflanzen angebetet. So bevölkern sie in der altdeutschen Mythologie als Zwerge, Nixen und Kobolde, bald neckend bald nützend, Gebirge, Wälder und Häuser. So regt sich überall noch in christlichen Völkern der Trieb, alle ungewöhnlichen Naturerscheinungen mit dem willkührlichen Treiben

Digitized by Google

von Spuckgeistern in Zusammenhang zu bringen. Nur bei wenigen Völkern, insbesondere bei den nomadischen Stämmen Sibiriens, ist an die Stelle der ersten kindlich-naiven Auffassung der Natur ein ähnlicher, aber greulicher Cultus getreten. Das Bewußtsein des höchsten Wesens, des Schöpfers und Beherrschers der ganzen Welt, ist jenen Nomaden ganz oder beinahe ganz verloren gegangen; die Naturkräfte, in warmen Klimaten die Wohlthäter der Menschen, sind unter dem düsteren Himmel und in den Steppen Nordasiens der Schrecken der Einwohner geworden; der menschliche Sinn, welcher die Schöpfung anfangs mit verwandten Wesen erfüllte, machte sie dort zu einem Tummelplatz unheimlicher, dem Menschen feindlicher Mächte. Kenntniß und Beherrschung der Natur fehlt jenen Stämmen, und wie die Natur für sie voll ist von unbekannten Feinden, so suchen sie die Elemente durch die greulichen Verzerrungen und Zaubersprüche ihrer Schamanen auf geheimnißvolle Weise in ihre Gewalt zu bekommen. Auf diesem Extreme ist der Mensch der Spielball der mannigfaltigen, unter sich selbst uneinigen Naturkräfte.

Vor einer solchen Anschauungsweise wurden die abendländischen Völker nächst der Mittheilung des Christenthums durch die fortschreitende Naturkenntniß bewahrt. Wo anfangs Willkühr zu herrschen schien, da bewegen und ordnen sich die Naturerscheinungen nach bestimmten Gesetzen; und jemehr der Geisterspuck aus den Köpfen der Menschen verschwindet, desto mehr wird dem menschlichen Verständnisse das ruhige, stille Wirken der göttlichen Gedanken in der Natur offenbar. Mit dem Verständnisse aber wächst beim Menschen die Fertigkeit, über die Naturkräfte für menschliche Zwecke zu verfügen.

Vor Allem stehen die mächtigen Naturerscheinungen, welche den Menschen erheben oder erschüttern, ihm nicht mehr als etwas Fremdartiges gegenüber; er weiß, daß sie nicht blos vorübergehend in sein Leben eingreifen, sondern daß die Naturkräfte ebensogut in als außer seinem Körper ununterbrochen

Digitized by Google

thätig sind, daß er im Stande ist, sie durch seinen Willen zur Wirkung zu bringen und zu leiten. Die Wärme, von welcher unsere Existenz mannigfach bedingt wird, entsteht nicht allein außer uns; sondern wir haben in unserm Körper selbst eine dauernde Wärmequelle. Die Bewegung der festen und flüssigen Außendinge hat ihr Gegenbild überall in unserm Körper, in der Bewegung unserer Glieder, im Kreislauf des Blutes, im Aus- und Einströmen der Luft, welche wir athmen. Die Kräfte endlich, durch welche unser Körper nach seinem Absterben verwes't, bewirken zwar auf andere Weise, aber im Grunde doch nach denselben Gesetzen den ununterbrochenen Stoffwechsel, die Ernährung unserer Organe. Auf der andern Seite locken wir dasselbe Licht, welches wir als Sonnenlicht genießen, aus todten Steinen, aus Kalk, Quarz, Glimmer, durch Reiben, Ritzen oder Spalten hervor; wir erregen es in jedem Körper, wenn wir ihn so weit erhitzen, daß er ins Glühen kommt. Die großartige Erscheinung des Blitzes aber ahmen wir mit unsern Elektrisirmaschinen glücklich nach; wir ziehen das Eisen mit selbstgefertigten Magneten auf dieselbe Weise an, wie der magnetische Nordpol der Erde die Spitze des Compasses immer nach sich gerichtet erhält.

So ziehen allgemeine Kräfte sich durch die ganze Natur, durch Gestirne, Steine, Pflanzen, Thiere hin. Sie sind nicht selbst das gemeinsame Band, welches alle Geschöpfe unter einander zusammenhält; aber sie sind doch ein Gemeinsames, das von dem Schöpfer in alle Dinge gelegt ist und auf den Einen Grund alles Geschaffenen hinweist. Sie stellen gleichsam das Alphabet der Schöpfung dar, — Schriftzüge, welche für sich wenig bedeuten, aber in Naturerscheinungen, in Naturkörpern unter einander verbunden das göttliche Wirken deutlich und vernehmlich ausdrücken.

Die verschiedenen Naturkräfte wirken in verschiedener Weise, jede nach eigenen, unveränderlichen Gesetzen. Es ist vor Allem nothwendig, diese Gesetze ins Auge zu fassen.

Digitized by Google

1) **Cohäsion.** Wir schätzen im gewöhnlichen Leben an vielen unserer Geräthschaften den festen Zusammenhang ihrer Theilchen, ihre Härte, Zähigkeit, Festigkeit; wir suchen diesen Zusammenhang, wo er nicht groß genug ist, auf künstliche Weise zu erhöhen, z. B. beim Eisen, indem wir Stahl daraus bereiten, beim Silber oder Gold durch Zusatz anderer, weniger weicher Metalle. Was wir aber hier zu unseren täglichen Zwecken benützen, ist eine allgemeine Eigenschaft aller Körper; wo ein einzelner Körper sich deutlich von andern unterscheidet, da bemerkt man, daß seine einzelnen Theile mit größerer oder geringerer Festigkeit unter einander zusammenhängen, und dieser Zusammenhang macht eben, daß wir annehmen können, die einzelnen Massetheilchen gehören einem und demselben Körper an. Man denkt sich als Grund dieser Erscheinung eine bestimmte, in den Körpern wirkende Kraft, die Cohäsionskraft.

Nun ist aber klar, daß die Cohäsionskraft nicht in allen Körpern auf gleiche Weise und in demselben Grade wirksam ist. Wie wir Stahl, Glas, thönerne Gefäſſe um ihrer Festigkeit willen schätzen, so wären uns andre Körper von höchst geringem Werthe, wenn ihre einzelnen Theilchen sich nicht mit größerer Leichtigkeit von einander trennen ließen. Wie sehr würde die Wichtigkeit des Wassers vermindert, wenn es aus den Gefäßen sich nicht in einzelnen Theilen, sondern nur als ganze, zusammenhängende Masse ausschütten ließe. Und wo bliebe der Werth der atmosphärischen Luft für unsere Athmungsorgane, wenn sich nicht immer wieder neue, athembare Luft an die Stelle derjenigen Luftschichten bringen ließe, welche durch Athmen verdorben worden sind? Im großen Haushalte der Natur, wie in der kleinen menschlichen Oekonomie sind Körper von sehr verschiedenen Cohäsionsgraden nöthig.

Man unterscheidet drei Cohäsionszustände, den festen, den tropfbarflüssigen und den elastischflüssigen oder gasförmigen. Die

Digitized by Google

Mehrzahl der uns bekannten Körper kann unter verschiedenen Verhältnissen in allen drei Zuständen vorkommen.

Der feste Zustand kommt allen Körpern von bestimmt ausgeprägter äußerer Form zu; die starre Rinde, von welcher die Gestalt der Erdoberfläche herrührt, die verholzten Pflanzentheile, welche wir zum Bau unserer Wohnungen benützen, die Knochen, welche unserer Körperform die dauernde Unterlage geben, sind beinahe ganz aus festen Körpern zusammengesetzt. Die einzelnen Theilchen dieser Körper werden nur mit Schwierigkeit von einander getrennt oder an einander verschoben; die äußere Form der Körper richtet sich nicht nach den Gefässen, in welche sie gebracht werden; gegenüber von andern festen Körpern bleiben sie in sich verschlossen, vermengen sich nicht mit ihnen. Ganz im Gegentheile finden sich Gase überall da, wo die rascheste Bewegung, der rascheste Austausch verlangt wird. Rings um die Erde liegt die Atmosphäre, eine Hülle von elastischer Flüssigkeit, reich an starken und schwachen Strömungen, an Stürmen und Winden, an Wechselwirkung der einzelnen Schichten. Diese atmosphärische Luft nehmen wir bei der Athmung in unsere Lungen auf; ihre Bestandtheile werden von unserem Blute durch alle unsere Organe geführt, um den Stoffwechsel überall neu zu beleben. In den elastischen Flüssigkeiten ist geringster Zusammenhang der Theilchen, Auseinanderstreben in allen Richtungen; von blühenden Gewächsen, von verwesenden Thieren aus verbreiten sich die gasförmigen Riechstoffe nach allen Seiten. Die Gase leisten trennenden oder verschiebenden Einflüssen den geringsten Widerstand; zugleich lassen sie sich aber durch äußern Druck comprimiren und nehmen nach Aufhören des Druckes wieder ihre vorige Ausdehnung an; diese Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit kommt bei andern Körpern kaum in schwachen Spuren vor. Hier ist ferner völliger Mangel der äußeren Form; elastische Flüssigkeiten haben für sich durchaus keine bestimmte Gestalt; sie nehmen die Gestalt der umgebenden Gefässe an, und entweichen

Digitized by Google

sogar aus diesen Gefäßen; nur wo sie durch tropfbare Flüssigkeiten durchtreten, also unter einem bestimmten, von allen Seiten wirkenden Drucke nehmen sie die Form von Blasen an. Untereinander mischen oder diffundiren sich die Gase aufs leichteste. Zwischen diesen beiden Extremen halten die tropfbaren Flüssigkeiten die Mitte. Sie lassen zwar ihre Theilchen leicht trennen und verschieben; aber von selbst streben diese Theilchen nicht auseinander. Sie nehmen zwar die Form der Gefäße an; aber sie bleiben in den Gefäßen, und bilden in denselben eine horizontale Oberfläche; wenn sie durch elastische Flüssigkeiten in kleineren Mengen hindurchfallen, erscheinen sie in Tropfenform. Endlich stehen sie unter einander sich nicht schroff gegenüber; sie mischen sich; aber ihre Mischbarkeit ist keine unbegränzte, wie bei den Gasen; Oel und Wasser können sich nicht vermengen. Daher bewegt sich die wäßrige Hülle des Erdkörpers an seiner Oberfläche nicht frei und ungebunden, wie die atmosphärische Luft; sondern sie ist in besondere Behälter, in Meeresbecken, in Bette der Flüsse, in Rinnen der Bäche eingefaßt; daher kreist das Blut in rings geschlossenen Kanälen; aber an allen Orten vermitteln die tropfbaren Flüssigkeiten in langsamer, nachhaltiger Weise die Wechselwirkungen der festen und gasförmigen Körper.

An der Erdoberfläche, in allen Pflanzen und Thieren finden sich also neben einander feste, tropfbarflüssige und gasförmige Substanzen; wo lebhafter Stoffwechsel ist, da greifen Körper von allen drei Cohäsionsformen in den Vorgang als wesentliche Glieder ein. Die Cohäsion ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper; aber in ihr drückt sich doch zugleich die Eigenthümlichkeit der einzelnen Körper aus. Denn die Unterschiede beschränken sich nicht darauf, daß ein Körper bald fest, bald tropfbarflüssig, bald gasförmig ist, sondern in jeder einzelnen dieser Abtheilungen kommen wieder so viele Abstufungen vor, als es überhaupt verschiedene Körper gibt. Dieß ist besonders bei den festen Körpern deutlich.

Digitized by Google

Jedermann weiß, daß gewisse weiche Substanzen, wie Fett, Gyps, schon durch den Fingernagel geritzt werden, daß dagegen Diamant alle andern Körper ritzt und von keinem andern wieder geritzt wird. Hierauf beruht die verschiedene Härte der Körper; der eine setzt ritzenden, schneidenden Instrumenten einen größeren Widerstand entgegen, dringt selbst mit einer scharfen Kante leichter ein, als der andere. Wir suchen bei unsern stählernen Schneideinstrumenten die größte Härte zu erreichen; wir schätzen als Edelsteine vorzüglich solche Mineralien, welche vermöge ihrer großen Härte von andern Gegenständen wenig oder gar nicht geritzt oder getrübt werden, also Diamant, Rubin, Topas. Der Härte steht gegenüber die Weichheit; aber ein anderer Gegensatz ist zwischen Sprödigkeit und Hämmerbarkeit oder Streckbarkeit. Rohrzucker, körniger Kalk zerspringen sehr leicht unter dem Hammer; aber Metalle lassen sich mit dem Hammer in dünne Platten hämmern und in Dräthe ausziehen; in beiden Beziehungen nimmt das Gold die erste Stelle ein. Alle Benützung und Verarbeitung der Metalle hängt von ihrer Streckbarkeit und Hämmerbarkeit ab. Ferner wird die Zähigkeit oder absolute Festigkeit eines Körpers nach dem Gewichte bestimmt, welches nöthig ist, um, unten angehängt, einen Cylinder, eine Stange von bestimmter Dicke zu zerreißen; hier steht das Eisen oben an, und man wählt es daher in Stangen- oder Drathform, um Brücken oder andere schwere Lasten zu tragen. Endlich ist aber noch die Elasticität der festen Körper anzuführen; diese lassen eine unbedeutende Verschiebung ihrer Theilchen zu, aber kehren nachher mit größerer oder geringerer Leichtigkeit wieder in den vorigen Zustand zurück. Kautschuk, Stahl, Elfenbein sind durch ihre Elasticität besonders bekannt; bei andern Körpern tritt diese Eigenschaft sehr bedeutend zurück.

Wir haben hier mehrere Weisen aufgezählt, in welchen die Cohäsion an festen Körpern auftritt. Es mögen solche specielle Angaben werthlos erscheinen; aber sie sind nicht blos für

Digitized by Google

die technischen Zwecke des Menschen von großer Wichtigkeit; sondern wo feste Substanzen in die Zusammensetzung organischer, namentlich thierischer Körper eingehen, da hängt es vorzüglich von ihren Cohäsionszuständen ab, wieviel sie für die Zwecke der einzelnen organischen Apparate zu leisten vermögen. Wir erwähnen hier nur die große Härte der Schmelzsubstanz der Zähne, welche dem Eindringen fester Speisetheile widersteht, die bedeutende Zähigkeit der Muskelsubstanz, welche durch ihre Zusammenziehung die thierischen Bewegungen vermittelt und beim Heben großer Gewichte dem Zerreißen insbesondere ausgesetzt ist. Wo bliebe endlich die ganze Pflanzendecke des Erdbodens, wenn nicht Stengel und Blätter elastisch wären und durch die Luftströmungen ohne Schaden bewegt würden? wie könnten die Federn und Haare der Thiere, die Glätte, der Zusammenhang und die Beweglichkeit ihrer äußeren Haut sich unter den äußeren Einflüssen und bei den Bewegungen der Glieder ohne Elasticität unversehrt erhalten?

Wir wollten unsere Untersuchungen mit einer der einfachsten und allgemeinsten Naturerscheinungen, mit dem innern Zusammenhang der einzelnen Körper beginnen. Aber schon hier drängt sich uns die unendliche Mannigfaltigkeit der Natur gewaltig entgegen. Wir sind gewöhnt, die äußeren Dinge, die Glieder unseres Körpers zu den verschiedensten Zwecken zu benützen, ohne daß wir uns bewußt werden, wie sehr der Werth unserer Instrumente oder Organe von ihren eigenthümlichen Cohäsionszuständen abhängt. Es ist sehr wichtig hervorzuheben, wie jeder Körper sich in Härte, Dehnbarkeit, Zähigkeit, Elasticität, überhaupt im Zusammenhalt seiner Theilchen eigenthümlich verhält, und wie diese Eigenthümlichkeit dazu beiträgt, ihn von andern Körpern zu unterscheiden und für die Zwecke der Natur oder des Menschen brauchbar zu machen.

Die Cohäsionskraft wirkt nur so lange, als die Theilchen eines Körpers sich unmittelbar berühren; sie hört auf, wenn der Körper durch äußere Gewalt in mehrere Stücke getheilt wird.

Digitized by Google

Wenn man einen Steinblock mit dem Hammer zerschlägt, so ist die Cohäsionskraft nicht im Stande, die einzelnen Stücke zu verbinden, wie etwa ein Magnet zerstreute Eisenfeile sammelt. Die Cohäsionskraft wirkt also nicht auf Entfernung, sondern nur bei unmittelbarer Berührung der Theilchen.

Nun ist es aber eine bekannte Sache, daß man zwei Stücke von Kautschuk unmittelbar nach dem Zerschneiden wieder zusammenkleben kann, daß Holzstücke mit Leim, Papierblätter mit Siegellack fest unter einander verbunden werden, daß Wassertropfen ziemlich fest an Glasplatten haften. Daraus geht hervor, daß nicht blos die Theilchen eines und desselben Körpers unter einander fest zusammenhängen, sondern daß ganz dieselbe Anziehung stattfindet, wenn es gelingt, zwei Körper unter einander in unmittelbare Berührung zu bringen; dieß ist besonders leicht bei dem elastischen, höchst verschiebbaren Kautschuk und bei tropfbaren Flüssigkeiten, mögen sie flüssig bleiben, wie Wasser, oder nachher zu festen Körpern erstarren, wie Leim oder Siegellack. Auch in dieser Erscheinung wirkt wieder die Anziehung, welche die Massetheilchen überhaupt bei unmittelbarer Berührung auf einander ausüben. Aber man leitet diese Fälle gewöhnlich nicht von der Cohäsion, sondern von der Adhäsion her; jene hält die Theilchen eines und desselben Körpers, diese die Theilchen zweier verschiedener, sich innig berührender Körper unter einander zusammen.

Wenn jeder Körper in sich selbst vermöge der Cohäsionskraft fest zusammenhängt, wenn durch die Adhäsion zwei sich innig berührende Körper an einander haften, so entsteht zunächst die Frage: hängen denn die einzelnen Körper nur durch unmittelbare Berührung unter einander zusammen? wirken entfernte Körper gar nicht auf einander ein? ist die ganze Schöpfung nichts als ein Haufen zufällig zusammengeworfener Körper? Aus der Cohäsion erklärt sich der Bestand einzelner Körper; der Zusammenhang aller Körper im Ganzen und Großen wird durch die Schwerkraft vermittelt.

Digitized by Google

2) **Schwere.** Wenn man auf die ausgestreckte Handfläche einen Stein legt, so fühlt man deutlich, daß dieser Stein die Hand abwärts, d. h. gegen die Erde hin drängt; sobald die Hand weggezogen wird, stürzt der Stein auf die Erdoberfläche herab. Es ist also klar, daß der Stein aus einer bestimmten Entfernung von der Erde angezogen wird. Wenn aber der Stein nicht auf eine Unterlage gebracht, sondern an einer Schnur aufgehängt wird, so zeigt es sich aus der Richtung der Schnur deutlich, daß er durch eine anziehende Kraft nicht unbestimmt gegen einen beliebigen Punkt der Erdoberfläche, sondern gegen den Erdmittelpunkt hin bewegt wird. Diese Kraft, welche die Körper, die unmittelbar an der Erdoberfläche oder in der Erdatmosphäre sich befinden, gegen den Erdmittelpunkt hin zieht, hat man *Schwerkraft* genannt.

Unter dem Einflusse dieser Schwerkraft befinden sich an der Erdoberfläche nicht nur Steine oder Pflanzen, sondern auch alle scheinbar freien Bewegungen des Menschen und der Thiere können sich ihrer Wirkung nicht entziehen. Wenn wir ein Glied unseres Körpers emporheben, so wirken wir der Schwerkraft entgegen, welche unsere Glieder abwärts zieht; daher ermüden z. B. sehr bald die Muskeln, welche unsern Arm horizontal ausgestreckt halten; daher stürzt der Mensch, wenn das Leben gewichen ist, die Bewegungsorgane nicht mehr thätig sind, sogleich zu Boden. Diese Schwerkraft hält aber auch an der Erdoberfläche alle Gewässer und die elastisch flüssige Hülle der Atmosphäre fest.

Wir haben oben bemerkt, daß die Cohäsion nach sehr einfachen Gesetzen, aber bei jedem einzelnen Körper wieder auf besondere Weise wirkt. Die Kraft der Schwere befolgt feinere, verwickeltere Gesetze; aber diese finden bei allen Körpern eine viel gleichmäßigere Anwendung. Die Schwerkraft wirkt nämlich nicht allein bei unmittelbarer Berührung, sondern auch auf Entfernung; mit der Entfernung nimmt die Kraft der Anziehung ab, und zwar nicht in gleichem, *geometrischem* Ver-

Digitized by Google

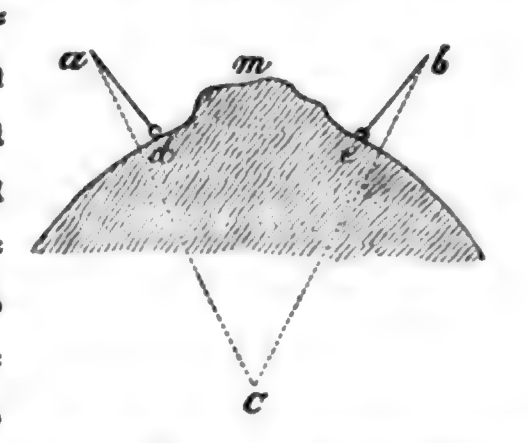
hältniß der Entfernung, sondern im Quadrate der Entfernung; bei einer Entfernung von drei Meilen wird die Anziehung nicht dreimal, sondern neunmal schwächer sein, als bei einer Entfernung von Einer Meile.

Diese einfachen Grundsätze lassen sich mit Sicherheit aus unsern Erfahrungen an der Oberfläche der Erde ableiten; aber ist die Wirksamkeit der Schwerkraft damit erschöpft, daß sie die Körper gegen den Mittelpunkt der Erde hinzieht? Newton hat bewiesen, daß dieselbe Kraft, welche den Stein gegen den Erdmittelpunkt bewegt, welche ihn veranlaßt auf seine Unterlage zu drücken oder zur Erde zu fallen, in unserm Planetensysteme und vielleicht im ganzen Reiche der Gestirne thätig ist. Die Schwerkraft, welche vom Erdmittelpunkte aus wirkt, erhält den Mond in der Nähe der Erde; die Schwerkraft fesselt, sofern sie vom Mittelpunkt des Sonnenkörpers ausgeht, alle Planeten in bestimmten, um die Sonne kreisenden Bahnen; sie fügt wahrscheinlich unsre Sonne einem höheren Systeme ein, und verknüpft als das gemeinsame Band alle Sternsysteme zum großen Ganzen des Weltalls. Auch für diese unermeßlichen Gebiete gelten dieselben Gesetze der Schwere, wie für den Fall des Steines gegen die Erdoberfläche; aber sie erhalten hier eine erweiterte Anwendung, einen umfassenderen Ausdruck.

Es entsteht hier zunächst die Frage, wie es denn komme, daß die Erde das einemal von der Sonne angezogen werde, das andremal die Körper an ihrer Oberfläche anziehe; ob denn die Erde nur im letztern Falle und nicht auch im erstern thätig sei, ob sie nicht auch auf die Sonne anziehend wirke. Und wenn man in dieser Richtung weiter geht, so findet man, daß nicht nur die Erde auf alle außerhalb ihres Mittelpunktes befindlichen irdischen Körper, sondern auch von diesen selbst die größern auf die kleineren eine gewisse Anziehung ausüben. Das Loth, welches an einem Faden aufgehängt ist, richtet sich wohl geradezu senkrecht gegen den Mittelpunkt der Erde; aber wenn man seine Richtung an zwei entgegengesetzten Seiten einer großen

Digitized by Google

Gebirgsmasse m untersucht, wie dieß an der Südseite und Nordseite der Shehallienberge in Schottland geschehen ist, so wird das Loth a und b beidemal gegen das Gebirge hin nach d und e leicht aus seiner senkrechten Richtung ac und bc abgelenkt; die Gebirgsmasse zieht demnach ebenso das Loth an, wie sie selbst von dem Mittelpunkt der Erde c angezogen wird, und es ist wiederum die Frage natürlich, ob denn die Gebirgsmasse nicht ebenso auf den Erdkörper, als auf das Loth anziehend wirke?



Dieser Widerspruch löst sich, wenn man die Beziehungen des Mondes zum Erdkörper näher betrachtet. Die Oberfläche des Meeres wird von mancherlei äußeren Einflüssen, insbesondere von den großen Strömungen der Atmosphäre bewegt; aber für Eine Erscheinung reichen keine ähnlichen Erklärungen hin, nämlich für den Wechsel der Ebbe und Fluth. Die Fluth kehrt immer zu derjenigen Zeit wieder, wo der Mond gerade über dem Orte, in dem Meridian des Ortes steht. Wir fassen diese einfache Thatsache auf, um zu beweisen, daß der Mond, wenn er sich senkrecht über einem Punkte des Meeres befindet, hier auf die Wassermasse eine solche Anziehung ausübt, daß sie zu einem Hügel von größerer oder geringerer Höhe anschwillt. Aehnlich wirkt die Sonne; aber die Fluth, welche der Mond hervorruft, ist dreimal stärker, als die von der Sonne erregte Fluth; die größere Masse der Sonne, welche sonst hinreicht, das ganze Planetensystem in ihrer Nähe festzuhalten, wird hier mehr als aufgewogen durch die Stellung des Mondes in der nächsten Nähe der Erde. Wir schließen aus dem Phänomene der Fluth, daß der Mond nicht blos von der Erde angezogen wird, sondern selbst die Erde anzieht.

Es bleibt nur noch übrig zu erklären, warum die Erde nicht eben so gut um den Mond sich bewegt, als der Mond um die Erde.

Digitized by Google

Wie Mond und Erde eine gegenseitige Anziehung auf einander ausüben, so verhalten sich überhaupt alle Körper. Die allgemeine Schwere oder die Gravitation macht, daß alle Körper sich wechselseitig anziehen, und zwar eben so gut bei kleinen als bei größeren Entfernungen. Die Größe der Anziehung verhält sich auch hier umgekehrt wie das Quadrat der Entfernungen. Sie verhält sich ferner gerade wie die Masse der Körper. Wir verstehen unter Masse die Quantität von Stoff, welche in einem Körper enthalten ist; nach dieser Quantität also richtet sich der Grad von Anziehung, welchen ein Körper auf den andern ausübt. Nun kommen alle Körper, welche sich an der Erdoberfläche befinden, an Masse gar nicht in Betracht gegenüber dem Erdkörper selbst; daher verschwindet die Anziehung, welche sie auf diesen insgesammt ausüben, ganz gegen die Kraft, mit welcher sie selbst von der Erde gezogen werden. Ebenso ist die Masse des Mondes gegenüber von der Erdmasse zu gering, als daß eine bedeutende Anziehung von jenem ausgehen könnte; aber der Mond reicht doch hin, um die Erscheinung der Fluth hervorzurufen. Endlich genügt die Masse aller Planeten noch lange nicht, um die Masse der Sonne aufzuwiegen; daher müssen alle Planeten sich eben so gut um die Sonne, als der Mond um die Erde bewegen.

So wird die Schwere zu einer allgemeinen Kraft, welche jedem Massetheilchen inwohnt. Wenn die Cohäsion den Zusammenhalt jedes einzelnen Körpers vermittelt, so bewirkt die Schwerkraft eine gegenseitige Anziehung aller Körper; die eine äußert sich nur bei unmittelbarer Berührung der Theilchen, die andre auf kleine und große Entfernungen, durch die ungemessenen Räume des Sternenhimmels hin; durch die Cohäsion hält jeder einzelne Körper in sich, durch die Schwerkraft halten alle Körper unter sich im großen Ganzen der Schöpfung zusammen.

Dieses ist das allgemeine Gesetz. Aber wie die Körper in Bezug auf ihre Cohäsion unendlich verschieden sind, so hat auch in Bezug auf die Schwere jeder sein eigenthümliches Ver-

Digitized by Google

halten; nur tritt hier vor dem allgemeinen Gesetze die Eigenthümlichkeit des einzelnen viel mehr zurück, als bei den mannigfachen Cohäsionsverschiedenheiten. Um die Körper in Bezug auf ihre Schwere näher zu untersuchen, brauchen wir im Allgemeinen unsere Wagen; wir bestimmen durch diese den Druck, welchen ein Körper auf seine Unterlage, in diesem Falle also auf die Wagschaale ausübt; diesen Druck heißen wir sein absolutes Gewicht. Nun ist es allgemein bekannt, daß Körper von demselben Gewichte nicht gleich groß sind, daß z. B. ein Pfund Holz viel mehr Umfang hat, als ein Pfund Blei oder Eisen, und umgekehrt, daß bei gleichem Umfang ein Körper schwerer ist als der andere, daß z. B. ein Kubikfuß Eisen mehr wiegt, als ein Kubikfuß Holz. Bedenkt man ferner, daß das Gewicht eines Körpers sich nach seiner Masse richtet, so muß nothwendig geschlossen werden, daß in demselben Raume bei dem einen Körper mehr Masse enthalten sei, als bei dem andern. In einem Kubikfuß Eisen nehmen wir mehr Masse, eine größere Quantität von Stoff an, als in einem Kubikfuß Holz, in diesem mehr als in einem Kubikfuß Luft. Und wie diese Körper sich verhalten, ebenso unterscheiden sich von einander alle Körper; jeder zeichnet sich aus durch eine gewisse Masse von Stoff in einem bestimmten Raume, durch sein Gewicht bei einem für Alle angenommenen Rauminhalte. Setzt man z. B. das Gewicht eines Kubikzolles Wasser = 1, so wird das Gewicht eines Kubikzolles von Schwefel = 2,05, von Diamant = 3,52, von Eisen = 7,84, von Gold = 19,36 sein. Auf diese Weise erhält jeder Stoff sein eigenthümliches Gewicht, welches von allen Nebenumständen, namentlich von der Größe des Körpers unabhängig ist; und dieses Gewicht heißt man das specifische; wir lernen es kennen, indem wir das absolute Gewicht, welches geradewegs durch die Wage bestimmt wird, mit dem Raume, den der Körper einnimmt, vergleichen.

Es entspricht ganz unsern gewöhnlichen Vorstellungen, daß in einem Körper, welcher auf demselben Raum mehr Masse ent-

hält als ein anderer, auch die einzelnen Massetheilchen dichter bei einander liegen. Daher braucht man sehr häufig auch den Ausdruck Dichtigkeit, wenn man vom specifischen Gewicht der Körper sprechen will. Wo aber die Massetheilchen näher beisammen liegen, da werden wir auch im Allgemeinen einen innigeren Zusammenhang derselben annehmen können. Und wirklich weist die Erfahrung nach, daß mit der Cohäsion in der Regel auch das specifische Gewicht der Körper zunimmt, daß beinahe durchaus die Gase leichter als die tropfbaren Flüssigkeiten, diese leichter als die festen Körper sind. Der leichteste aller Körper, 14mal leichter als atmosphärische Luft, ist der gasförmige Wasserstoff; der schwerste Körper, das feste metallische Platin, ist 22mal schwerer als Wasser. Daher kommt es, daß im Allgemeinen die Schwerkraft an der Erdoberfläche am stärksten auf feste Körper, am schwächsten auf Gase wirkt, daß in der Regel feste Körper in tropfbaren Flüssigkeiten und diese in Gasen zu Boden fallen, daß umgekehrt Gase in tropfbaren Flüssigkeiten in die Höhe steigen. Dieß ist für die Oekonomie der Natur von unberechenbarer Wichtigkeit. Der feste Erdkörper wird zunächst von einer tropfbarflüssigen, und dann erst von einer gasförmigen Hülle umgeben; wir nennen diese Hüllen, sofern Thiere und Pflanzen in ihnen leben, tropfbarflüssige und gasförmige Medien, und mit der Anordnung, überhaupt mit dem specifischen Gewicht dieser Medien hängt das Leben der Pflanzen und Thiere aufs genaueste zusammen. Ein Fisch schwimmt nur dadurch, daß sein ganzer Körper nicht schwerer oder sogar etwas leichter ist als Wasser; er athmet nur insofern durch Kiemen, als er im Wasser athmet; ein Säugthier dagegen vermag nur in der atmosphärischen Luft seine Lungen zur Athmung zu gebrauchen. Die ganze Pflanzenwelt ist darauf eingerichtet, daß die Gase, welche die einzelne Pflanze absondert, entweder unmittelbar oder durch Wasser emporsteigen, um an dem großen Stoffwechsel der atmosphärischen Luft Theil zu nehmen.

Digitized by Google

Wir schließen hier den Abschnitt von der Schwere. Die Natur besteht für uns aus Körpern, welche in sich selbst zusammenhalten und sich wechselseitig anziehen. Der innere Zusammenhalt zeigt große und mannigfaltige Verschiedenheiten; und in analoger, wenn auch nicht ganz gleicher Weise wechselt bei den Körpern der Grad der gegenseitigen Anziehung. Aber dieses Bild der Natur ist noch überaus mangelhaft. Es fehlt in ihm noch alle Bewegung; es fehlt außer den Graden der Dichtigkeit und Cohäsion jede Eigenthümlichkeit der Einzelkörper. Wir müssen dem Gemälde auch Bewegung, Farbe, Leben verleihen. Und hiezu hilft vor Allem die Schwere selbst; denn sie hält nicht blos Gestirne in bestimmten Bahnen um eine Sonne fest; sondern sie verursacht auch den Fall der Körper. So fängt das Bild an, bewegt zu werden.

3) **Bewegung und Gleichgewicht.** Wir beginnen hier mit dem Gegensatze von Bewegung und Ruhe. Wir nehmen an, daß ein Körper, der sich in Bewegung befindet, fortfährt, sich in derselben Weise zu bewegen, wenn nicht ein äußerer Einfluß seine Bewegung verändert oder hemmt, daß umgekehrt ein ruhender Körper nur durch einen äußeren Anstoß in Bewegung gesetzt werden kann. Jeder Körper beharrt also für sich in dem Zustande, in welchem er sich eben befindet, sei dieß nun Ruhe oder Bewegung. Man nennt diese Eigenschaft das Beharrungsvermögen, die Trägheit der Körper.

Als erstes Beispiel für die Bewegung bietet sich der Fall der Körper dar. Ein fallender Körper wird durch die Schwerkraft bewegt, welche vom Erdmittelpunkte aus wirkt. Dieser zieht ihn nicht blos in dem ersten Momente an, wo die Unterlage dem Körper genommen wird; sondern in jedem folgenden Zeittheilchen kommt zu der ersten Anziehung wieder eine neue hinzu. Der Körper verhält sich hiebei wie ein Rad, welches durch einen Stoß in Bewegung gesetzt und durch neue Stöße immer rascher bewegt wird, wie eine Dampfmaschine, deren

Digitized by Google

anfängliche Geschwindigkeit durch die immer fortwirkende Kraft des Dampfes sich ununterbrochen steigert. Je länger jener Körper fällt, desto größer wird die Summe von Anziehung, welche seit dem Anfang des Falles auf ihn gewirkt hat; desto größer wird ebendamit auch seine Geschwindigkeit. Diese Beschleunigung des Falles wird durch ein sehr einfaches Gesetz ausgedrückt; wenn der Körper in Einer Sekunde 15 Fuß fällt, so fällt er in 2 Sekunden nicht 2mal 15 oder 30, sondern 4mal 15 oder 60 Fuß, in 3 Sekunden nicht 45, sondern 135, d. h. 9mal 15, in 4 Sekunden 16mal 15 oder 240 Fuß, d. h. wenn die Sekunden oder überhaupt die Zeiten sich wie 1, 2, 3, 4 verhalten, so verhält sich die Geschwindigkeit oder der Fallraum wie 1, 4, 9, 16; die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Dieses Gesetz erleidet keine Veränderung durch die Beschaffenheit des einzelnen Körpers. Man könnte z. B. sehr leicht denken, ein schwerer Körper, ein Stück Blei, werde rascher fallen, als ein Stück Holz; aber dieses findet keineswegs statt. Im luftleeren Raume fallen alle Körper, leichte oder schwere, große oder kleine mit derselben beschleunigten Geschwindigkeit. Nur die Luft setzt dem Falle der Körper einen Widerstand entgegen, welcher je nach äußeren Umständen verschieden groß ist. Namentlich aber wird der Widerstand der Luft durch die Form des Körpers erhöht; Körper von gleichem absolutem Gewicht fallen um so langsamer, je größer ihr Umfang, je größer namentlich ihre horizontale Ausdehnung ist; ausgebreitete Kleider, Mäntel verlangsamen den Fall eines Menschen; mit Hilfe eines Fallschirms kann der Mensch sich aus sehr bedeutender Höhe der Atmosphäre ohne Beschädigung herablassen. Wo sich Thiere in der atmosphärischen Luft frei bewegen, also insbesondere beim Fluge der Vögel, finden die Fallgesetze ihre ausgedehnte Anwendung; der ausgebreitete Flügel dient hier zugleich zur Fortbewegung und als Fallschirm gegen das Herabstürzen aus der Atmosphäre.

Digitized by Google

Auf andere Weise wird der Fall verlangsamt, wenn man eine Kugel auf einer geneigten, aber glatten Fläche herabrollen läßt. Hier bewirkt die Reibung, daß die Geschwindigkeit im Ganzen geringer ist; aber das Verhältniß der Fallzeiten zu den Fallräumen bleibt doch dasselbe, wie beim freien Falle. Kommt nun die Kugel am untern Ende der geneigten Fläche an, so hört ihre Bewegung nicht auf, wie die des Steines, welcher frei aus der Luft herabfällt; sondern sie rollt mit einer Geschwindigkeit weiter, welche mannigfach durch den Widerstand des Bodens, durch Rauhigkeiten oder Erhebungen desselben verändert wird. Denkt man sich aber den Boden völlig horizontal und glatt, so wird die Kugel auf ihm vermöge der Trägheit der Körper mit derselben Geschwindigkeit fortrollen, welche sie am untern Ende der geneigten Fläche erreicht hatte. War diese Geschwindigkeit z. B. 60 Fuß in der Sekunde, so wird die Kugel auch auf der Ebene in Einer Sekunde 60, in 2 Sekunden nicht 4mal 60, sondern 2mal 60 oder 120 Fuß zurücklegen. Die Kugel ist aus der beschleunigten Bewegung des Falles in eine gleichförmige Bewegung übergegangen; so bewegt sich die Dampfmaschine auf einer ebenen Fläche ohne weitere Hilfe des Dampfes mit der Geschwindigkeit fort, welche sie durch längere Wirkung des Dampfes erreicht hatte.

Wenn dagegen am untern Ende der geneigten Fläche die Kugel nicht auf eine horizontale, sondern auf eine von Neuem ansteigende Ebene gelangt, so wird die Kugel auch auf dieser ihren Lauf fortsetzen; aber mit dem Hinaufrollen der Kugel nimmt ihre Geschwindigkeit stetig ab, und es kommt ein Punkt, wo das Steigen völlig aufhört, wo die Kugel wieder herabzurollen anfängt. Denkt man sich die ansteigende Fläche gegen eine horizontale Linie ebenso geneigt, als die absteigende, so würde auf jener die Kugel ebenso weit hinaufrollen, als sie auf dieser herabgerollt ist. Dieses Resultat ergibt sich aber in der Wirklichkeit nie, weil die Luft die Bewegungen hemmt, und weil Kugel und Ebene nie glatt genug sind, um jede Reibung, jeden

Digitized by Google

Widerstand entfernt zu halten. Die hinaufrollende Kugel kehrt früher um, als sie vermöge der mathematischen Gesetze der Bewegung sollte. Hier findet also eine Verlangsamung statt, wie beim Fall der Körper eine Beschleunigung. Die Kugel rollt hinauf vermöge der Geschwindigkeit, welche sie am Ende ihres Fallens bekommen hatte; aber zugleich wirkt die Schwerkraft in zunehmendem Maaße entgegen und bewirkt zuletzt, indem sie das Uebergewicht bekommt, eine Umkehr der Bewegung. Beispiele von einem solchen Hinaufrollen fester Körper an einer geneigten Ebene sind sehr häufig; bei dem berühmten Bergsturze, der Goldau im Jahre 1806 verschüttete, wurden mächtige Felsblöcke, welche vom Roßberge herabgestürzt waren, an der gegenüberliegenden Bergwand des Rigi zu einer ziemlichen Höhe hinaufgetrieben.

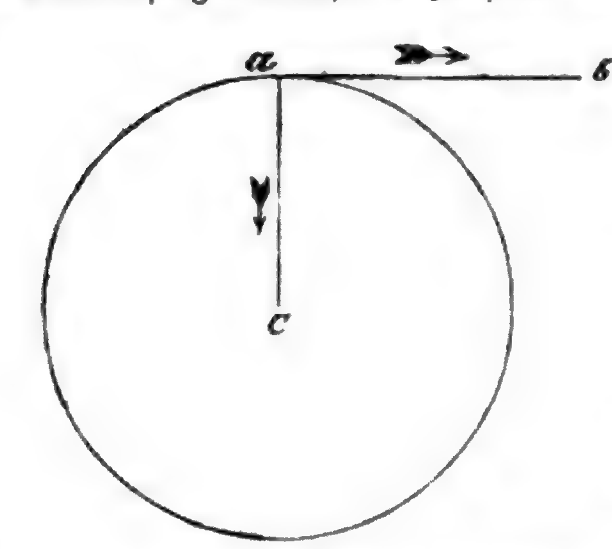
Statt die Kugel auf einer schiefen Ebene herabrollen zu lassen, kann man sie auch an einem Faden aufhängen, dessen anderes Ende befestigt ist. Die Kugel befindet sich in Ruhe, wenn der Faden eine senkrechte Richtung hat (e b); sie ist dann dem Erdmittelpunkt so nahe als möglich. Wird aber die Richtung des Fadens verändert, so entfernt sich die Kugel von dem Mittelpunkt der Erde nach a, und sie wird daher durch die Schwerkraft bestimmt, in ihre vorige Lage zurückzukehren; sie fällt von dem höheren Punkte a wieder herab, und zwar natürlich nicht in einer geraden, sondern in einer krummen Linie, von a bis b. Und wie die Kugel, welche auf der schiefen Ebene eine Strecke herabgerollt war, auf einer gleich geneigten ansteigenden Ebene, soweit es auf die mathemalischen Gesetze ankommt, wieder eben so weit hinaufrollt, so sollte die an einem Faden aufgehängte Kugel über ihren Ruhepunkt hinaus eine ebenso große Strecke bis c zurücklegen, als sie auf der andern Seite des Ruhepunktes durchlaufen hatte. Indeß wird hier, wie bei der rollenden Kugel,

die Genauigkeit durch den mannigfachen Widerstand beeinträchtigt, welchen die Luft und andere Umstände der Bewegung entgegensetzen. Denkt man sich aber allen Widerstand entfernt und statt Kugel und Faden nur eine mathematische, an einem Ende befestigte, von der Schwerkraft angezogene Linie, so ist hiemit das reine mathematische Pendel gegeben. Dieses ist im Gleichgewicht in der senkrechten Stellung; wird es aus dieser gebracht, so beginnen Schwingungen, welche nach beiden Seiten der senkrechten Linie gleichen Ausschlag geben. In solcher Weise dauern die Bewegungen fort, wenn sie nicht durch äußere Hindernisse verlangsamt oder gehemmt werden; alle Pendel, welche in der Natur vorkommen oder vom Menschen verfertigt werden, unterliegen solchen Hindernissen und hören daher nach längerer oder kürzerer Zeit zu schwingen auf. Wir gehen hier nicht näher auf die vielfältigen Anwendungen ein, welche das Pendel in Gewerben, beim Baue der Uhren und anderer Werkzeuge erleidet. Wir erwähnen nur, daß beim Gehen des Menschen die Arme und Beine, und namentlich die ersteren, keineswegs blos willkührlich und durch Muskel, sondern immer auch nach Art der Pendel bewegt werden.

Was wir bisher über die Gesetze der Bewegungen gesagt haben, gewährte schon einen Blick in das unendlich weite Feld ihrer Anwendung. Alles bezog sich aber ausschließlich auf Bewegungen, deren Ursache die Schwerkraft ist. Wie kommt es nun, daß die Körper, daß insbesondere die Gestirne nicht schon längst und unmittelbar nach ihrer Entstehung durch die allgemeine Wirkung der Schwerkraft nach dem Mittelpunkte des Weltalls hin bewegt worden sind, daß das Neuentstandene nicht sogleich wieder in eine ungeordnete Masse zusammengestürzt ist? Es mußten gleich anfangs und es müssen jetzt noch Ursachen vorhanden sein, welche trotz der Gravitation den Mond entfernt von der Erde, die Erde entfernt von der Sonne erhalten. Man nimmt nach Newtons Vorgange an, daß der Gravitation, welche gegen den Mittelpunkt, also centripetal die Körper be-

Digitized by Google

wegt, eine andere Kraft gegenüberstehe, die als die Fliehkraft, Centrifugalkraft bezeichnet wird. In einer kreisförmigen



Bahn wirkt die Schwerkraft in der geraden Richtung von der Peripherie zum Mittelpunkte von a nach c, die Centrifugalkraft senkrecht auf diese Richtung, in der Tangente des Kreises von a nach b; in der Mitte zwischen beiden Richtungen liegt die Bahn, welche sich ebensowenig vom Mittelpunkte entfernt, als in diesen zurückkehrt. Die Gesetze der Centrifugalkraft, welche die Bewegungen der Gestirne mit bedingt, sind im Kleinen leicht zu studiren. Wenn eine Kugel an einem Faden befestigt und im Kreise um einen Mittelpunkt geschwungen wird, so ist ihre Bahn in zwei Momenten begründet, nämlich in der Cohäsion der Schnur, welche die Kugel verhindert, sich vom Centrum weiter zu entfernen, und in der Kraft, welche durch den Schwung erregt wird und die Schnur immer anspannt, also die Kugel möglichst weit vom Mittelpunkte entfernt. Reißt die Schnur, so entfernt sich die Kugel senkrecht auf die Richtung der Schnur, in der Tangente ihrer Kreisbahn. Was hier die Schnur thut, das erfüllt beim Umlauf des Mondes um die Erde die Schwerkraft; die Schwungkraft aber, welche wir künstlich erregen, ist völlig dieselbe mit der Centrifugalkraft, welche zu den Bahnen der Gestirne mitwirkt. Hier ist also eine von den Kräften, welche die Macht der Schwere beschränken; außer ihr gibt es noch andere, von welchen erst später die Rede werden kann. Was aber von der Schwungkraft, was von dem Fall unter verschiedenen Umständen gesagt worden ist, genügt schon um zu beweisen, daß die bewegenden Kräfte in der Natur sich wechselseitig bald unterstützen, bald modificiren, bald aufheben.

Digitized by Google

Wir haben schon oben von dem Gegensatz der Ruhe und Bewegung, von dem Beharrungsvermögen oder der Trägheit der Körper gesprochen. Hier, wo die bewegenden Kräfte im Allgemeinen betrachtet werden sollen, müssen wir noch einmal auf jene Punkte zurückkommen. Vor allem bemerken wir, daß in der ganzen Natur kein Körper sich völlig in Ruhe befindet; wo wir hinblicken, ist überall Bewegung. Der Stein, der unbewegt an der Erdoberfläche zu liegen scheint, theilt mit der Erde ihre tägliche Umdrehung und ihren Lauf um die Sonne. Die Sonne selbst und die Fixsterne, welche lange für völlig ruhend gehalten wurden, sind wahrscheinlich theils einer Umdrehung um sich selbst, theils einem langsamen Fortrücken im Weltraume unterworfen. Nur so viel entspricht der Wirklichkeit, daß die Körper sich nicht für sich allein, sondern wechselseitig zur Bewegung bestimmen, daß die Erde zwar den Stein bewegt, aber selbst von der Sonne bewegt wird, daß die Knochen unserer Glieder zwar zunächst den Wechsel der äußeren Form und Lage unseres Körpers, d. h. unsere Ortsbewegung vermitteln, aber selbst erst durch die Zusammenziehung unserer Muskel in Bewegung gesetzt werden. So ist zwar überall, an jedem Punkte der Natur Bewegung; aber der einzelne Körper bewegt sich nicht durch sich allein; sondern seine Bewegung wird von andern Körpern angeregt und wirkt ebenso wieder auf andere Körper ein. Jeder Körper verhält sich zu einem zweiten als ruhender, zu einem dritten aber als bewegender; und auf diese Weise wird von Neuem der allseitige, ununterbrochene Zusammenhang aller Naturkörper deutlich.

Wir denken uns zuerst, daß die bewegende Kraft nur in Einem Augenblicke und dann nicht mehr auf den Körper wirke; so rollt im Kegelspiel die Kugel durch den Anstoß, welcher ihr von der Hand des Menschen mitgetheilt worden ist, bis ans Ende der Bahn; so läuft am Fuße eines Berges ein Wagen noch mit der Fallgeschwindigkeit weiter, welche er am untern Ende des Abhanges erreicht hatte. Ein solcher einmaliger Stoß

Digitized by Google

versetzt den Körper in eine Bewegung, welche ohne äußeren Widerstand mit gleicher Geschwindigkeit ununterbrochen fortdauern würde; aber die Reibung an festen Körpern, der Widerstand tropfbarer oder gasförmiger Medien bewirkt, daß die Geschwindigkeit nachläßt und die Bewegung nach längerer oder kürzerer Zeit ganz aufhört. Eine gleichförmige Bewegung kommt also in der Natur deßwegen nicht in ihrer Reinheit vor, weil der einen bewegenden Kraft immer andere, in verschiedenen Richtungen wirkende Kräfte entgegentreten. Man bestimmt die Größe der Kraft, welche die gleichförmige Bewegung hervorruft, nach der Geschwindigkeit und nach der Masse des bewegten Körpers. Die erstere wird durch den Raum ausgedrückt, welchen der Körper in Einer Sekunde durchläuft; so legt ein Mensch in der Sekunde 2,5 Fuß, eine Kanonenkugel 1600 Fuß zurück. Dann aber verlangt natürlich eine größere Masse zu ihrer Fortbewegung auch eine größere Kraft; und zwar stehen beide zu einander in einem einfachen geometrischen Verhältnisse; die vierfache Masse bedarf die vierfache Kraft. Die Last, welche durch zwei Pferde nicht von der Stelle bewegt wurde, wird von der Lokomotive mit Leichtigkeit gezogen; der Kraft des Kindes entspricht zum Fortbewegen ein viel geringeres Gewicht, als dem stärkern Arm des Mannes. Aus diesen zwei Momenten wird also die Größe einer Kraft berechnet; sie ist nicht größer, wenn sie in Einer Sekunde 4 Pfunde 6 Fuß weit bewegt, als wenn sie 6 Pfunde nur 4 Fuß oder 8 Pfunde nur 3 Fuß weit fortschiebt; das Produkt aus beiden Momenten ist immer dasselbe, = 24.

Die Geschwindigkeit wächst, wenn die bewegende Kraft nicht blos einmal, sondern immer wieder von Neuem wirkt; der Kreisel des Knaben dreht sich unter wiederholten Peitschenschlägen immer schneller. Wir haben diese beschleunigte Bewegung schon beim Fall kennen gelernt; was hier durch die ununterbrochene Wirkung der Schwerkraft geschieht, kann ebenso durch jede andere fortdauernde oder sich wiederholende Kraft bewirkt werden. Hier erhält der Körper nach größern oder

Digitized by Google

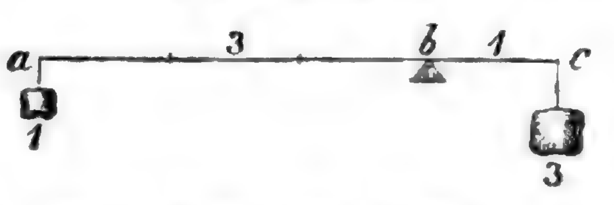
kleinern Zeiträumen immer einen neuen Anstoß, und die Summe aller dieser Stöße, d. h. aller nacheinander wirkenden Kräfte gibt das Maaß der Kraft, durch welche der Körper im Ganzen fortbewegt wird. Umgekehrt wird der Körper in seiner Bewegung gehemmt, wenn der ersten Kraft eine zweite direkt entgegenwirkt; er steht still, wenn beide Kräfte einander gleich sind; er wird, wenn eine Kraft die andere überwiegt, von der stärkern mit einer Geschwindigkeit fortbewegt, welche dem Unterschied beider Kräfte entspricht. So wird eine Flintenkugel in vollem Laufe von einer Steinwand aufgehalten; sie durchbohrt dagegen mit Verlangsamung ihrer Geschwindigkeit eine oder mehrere Bretterwände. So hält der Vogel mit schwächeren Flugbewegungen sich in einer gewissen Schichte der Atmosphäre; mit stärkeren Flügelschlägen überwindet er die Schwerkraft völlig und steigt in die Höhe. Aber es ist jetzt noch der Fall zu betrachten, wo die beiden Kräfte nicht direkt, sondern unter einem Winkel gegen einander wirken. Ein Nachen z. B., welcher sich auf einem Flusse befindet, würde ohne Ruderer vom Strome des Wassers fortgerissen, dagegen ohne die Strömung durch die Schiffer quer hinübergerudert; da aber beide Kräfte unter einem rechten Winkel gegen einander wirken, so gelangt der Nachen in einer mittleren, schiefen Richtung etwas stromabwärts ans gegenüberliegende Ufer. Ein Mensch, welcher in einem Wagen fährt, wird durch diesen horizontal fortbewegt; springt er aus dem Wagen, so dauert diese horizontale Bewegung noch fort; aber da zugleich die Unterlage fehlt, der Mensch also nach den Gesetzen des Falles sich geradezu gegen den Erdboden bewegen müßte, so entsteht aus der Combination beider bewegenden Kräfte eine Mittelkraft; der Mensch springt nicht horizontal und nicht senkrecht, sondern nach vorn in einer schiefen Richtung aus dem Wagen. Diese Beispiele lassen sich aus der täglichen Erfahrung sehr vervielfältigen; aber sie zeigen schon, daß zwei Kräfte, welche unter einem Winkel gegen einander wirken, den Körper mit der sogenannten Mittelkraft in einer mittleren Richtung weiterbewegen.

Digitized by Google

In den bisherigen Fällen wurde der Körper, welcher bewegt werden soll, als frei angenommen. Nur das Pendel war am oberen Ende befestigt. Wie nun auf dieses nur Eine Kraft, nämlich die Schwerkraft wirkt, so kann ein Körper, welcher an einem Punkte befestigt ist, auch von zwei einander entgegenwirkenden Kräften bewegt werden. Der Befestigungspunkt kann am einen Ende des Körpers oder von den Enden mehr oder weniger entfernt liegen; die Kräfte selbst können im Gleichgewichte sein oder nicht; im letztern Falle wird entweder das eine oder beide unbefestigte Enden sich bewegen, und zwar immer, wie das Ende des Pendels, in krummen Linien, in Kreisabschnitten; der Befestigungspunkt wird immer auch der Drehpunkt des Körpers sein. Es sei z. B. die Aufgabe, mittelst eines Hebeeisens a b einen Stein zu heben; das eine Ende des Eisens b, welches sich am Boden befindet, ist der Drehpunkt; am andern Ende a wirkt die Kraft des Armes ein; es fragt sich, wo der Stein angebracht werden muß, welcher durch seine Schwere das Eisen abwärts drückt und gehoben werden soll. Legt man den Stein an dasselbe Ende, wo die Hand wirkt, so wird es blos darauf ankommen, ob die Kraft des Armes im Stande ist, für sich den Stein zu heben. In diesem Falle, wo die entgegengesetzten Kräfte an einem und demselben Punkte des Hebeeisens wirken, gleichen sie sich auf die gewöhnliche Weise aus; das Eisen ist entweder im Gleichgewicht, oder überwiegt die eine Kraft, und das Eisen wird einmal durch den stärkeren Arm gehoben, das anderemal durch den zu schweren Stein herabgedrückt. Aber der Zweck des Hebeeisens ist eben, die Kraft des Armes zu erhöhen; und jeder Steinhauer weiß, daß man zu diesem Zwecke den Stein näher an den Drehpunkt legen muß als die Hand. Hier treten also neue Bedingungen hinzu, und es ist gut, sich an der Stelle des Hebeeisens eine mathematische, nicht biegsame Linie zu denken, welche an einem Ende

Digitized by Google

befestigt ist und in verschiedenen Entfernungen von diesem Drehpunkte durch entgegengesetzte Kräfte bewegt wird. Eine solche Linie heißt der **mathematische Hebel**; sein Drehpunkt kann übrigens ebensogut zwischen beiden Enden, als an Einem Ende liegen. Nun ist es eine Sache der gewöhnlichsten Erfahrung, daß ein Hebel, welcher an dem Einen Ende befestigt ist, nur dann zum Heben schwerer Lasten benützt werden kann, wenn die Hand den Hebel am freien Ende ergreift und die Last dem Drehpunkte genähert wird. Die kleinere Kraft wird also dadurch ergänzt, daß sie sich weiter vom Drehpunkte entfernt, als die größere; oder am Ende des langen Hebelarmes vermag die kleinere so viel zu wirken, als die größere Kraft am Ende des kurzen Hebelarmes; die beiden Kräfte verhalten sich umgekehrt wie die Länge der Hebelarme. Wenn z. B. mit dem Hebeeisen eine Steinlast gehoben werden soll, deren Gewicht dreimal die Kraft eines Mannes übersteigt, so wird diese Kraft der Last gerade das Gleichgewicht halten, wenn die Hand am Ende des Eisens, der Stein aber nur $^1/_3$ vom Drehpunkte entfernt, also bei c liegt; die Kraft eines Mannes wird hinreichen, die Last zu heben, wenn man die Steinlast dem Drehpunkte noch etwas mehr nähert. Dasselbe gilt von dem Hebel, dessen Drehpunkt zwischen den Enden liegt, dessen Arme also nicht nach Einer Seite, sondern nach entgegengesetzten Seiten gerichtet sind; dieser Hebel heißt der zweiarmige, gegenüber von dem andern, bisher betrachteten, sogenannten einarmigen Hebel.



In allen Fällen also verhalten sich die Längen der Hebelarme umgekehrt wie die Kräfte, welche an ihnen wirken; der Hebel ist im Gleichgewicht, wenn am 5mal längeren Arm eine 5mal kleinere Kraft, am 5mal kürzeren eine 5mal größere Kraft wirkt; die Kraft, welche zum Angriffspunkte einen Arm von 25 Fußen hat, wiegt eine 5mal größere Kraft auf, deren Hebelarm nur 5 Fuße beträgt; mit Einem Worte: der Hebel

ist im Gleichgewicht, wenn das Produkt aus Länge und Gewicht bei beiden Hebelarmen dasselbe ist.

Die Gesetze des Hebels finden ihre Anwendung hauptsächlich bei unserer gewöhnlichen Wage. Diese ist nichts anderes als ein zweiarmiger Hebel, dessen Drehpunkt so liegt, daß die beiden Arme, die Hälften des Wagbalkens, sich gerade das Gleichgewicht halten; wenn in die Eine Schaale noch ein Gewicht gelegt wird, so sinkt diese nieder. Am Drehpunkte liegt die Unterstützung der Wage; er muß natürlich so gewählt werden, daß die Schwere nach beiden Seiten des Wagbalkens gleich vertheilt ist. Was nun hier als Drehpunkt bezeichnet wird, das ist im Allgemeinen der Schwerpunkt der Körper, der Punkt, um welchen die Schwere des Körpers nach allen Seiten hin gleich vertheilt ist, durch dessen Unterstützung der ganze Körper im Gleichgewicht erhalten, getragen wird. Es ist an vielen Körpern nicht möglich, gerade den Schwerpunkt selbst zu unterstützen; aber dann muß der Schwerpunkt wenigstens über der Unterstützungsfläche liegen. So stürzt ein Mensch aus dem Fenster, sobald sein Schwerpunkt über den Rand des Fensters hinaus zu liegen kommt; so beugt er sich, wenn er eine Last auf dem Rücken trägt, mit dem Oberkörper nach vorn, um seinen Schwerpunkt, der durch die Last verändert worden ist, weiter nach vorn, über die Fläche zu rücken, auf welcher seine Beine stehen; so gehört eine viel größere Kraftanstrengung dazu, um eine Metallstange an dem Einen Ende, als um sie in ihrer Mitte, wo der Schwerpunkt liegt, frei zu halten. Bei allen Bewegungen der Thiere, bei der Richtung des Wachsthums der Pflanzen ist die Lage des Schwerpunktes von hoher Bedeutung. Aber ebenso finden auch die Gesetze des Hebels überall in der Natur vielfache Anwendung. Als Hebel verhalten sich namentlich unsere Glieder; so befindet sich der Drehpunkt des Vorderarmes an einem Ende desselben, im Ellenbogengelenke, das Gewicht in der Hand, die nach oben ziehende Kraft in dem Muskel, welcher vom Oberarm kommt und

Digitized by Google

sich hinter der Mitte des Vorderarmes befestigt. So läßt sich der Fuß mit einem zweiarmigen Hebel vergleichen; der Drehpunkt ist im Fußgelenk, das eine Ende an der Ferse, das andere an den Zehenspitzen; je nachdem die Kraft der Muskel hier oder dort überwiegt, wird bald die Ferse, bald das Zehenende nach oben gezogen.

Wir haben die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung fester Körper durchgegangen; es bleiben jetzt noch einige wichtige Punkte übrig, welche sich auf die Bewegung der elastischen und tropfbaren Flüssigkeiten beziehen.

Feste Körper drücken oder bewegen andere nur dann, wenn sie selbst durch die Schwere oder andere Kräfte in Bewegung gesetzt werden. Aber Gase üben auch in der Ruhe nach allen Seiten einen Druck durch ihr Bestreben, sich auszudehnen, sich zu expandiren. Die atmosphärische Luft z. B. wirkt auf die Körper, welche sich an der Erdoberfläche befinden, nicht blos durch Winde oder Stürme ein; sondern durch ihr Expansionsbestreben bringt sie einen dauernden, allseitigen Druck hervor, welcher für den Körper eines erwachsenen Menschen auf 30,000 bis 40,000 Pfunde berechnet wird. Die Größe des Druckes wächst mit der Dichtigkeit der gasförmigen Flüssigkeiten. In unserer Atmosphäre nimmt die Dichtigkeit ab, je mehr wir von der Meeresfläche in den Luftschichten emporsteigen; dieß hat seinen Grund darin, daß die oberen Luftschichten durch ihr Gewicht auf die unteren drücken, daß daher die untersten, der Erde nächsten Schichten die größte Last zu tragen haben und durch den Druck derselben am meisten comprimirt, verdichtet werden. Wenn daher ein Mensch Berge von bedeutender Höhe ersteigt, oder wie Gay Lussac sich im Luftballon bis zu 20,000 Fuß über der Meeresfläche erhebt, so fühlt er an seinem Körper die Abnahme der Luftdichtigkeit und des atmosphärischen Druckes. Alle unsere Organe sind auf eine gewisse Dichtigkeit der umgebenden Luft eingerichtet; insbesondere bedürfen die feinen Gefäße, welche unser Blut an der Oberfläche unseres Körpers, in

Digitized by Google

der Haut, in den Lungen und Schleimhäuten führen, einen gewissen Grad von Luftdruck zur Unterstützung ihrer dünnen Wandungen gegen den dauernden, von innen wirkenden Druck des Blutes. Von der Meeresfläche bis zu etwa zehntausend Fuß Höhe ist der äußere Luftdruck dem Bedürfnisse unseres Körpers angemessen; aber in größeren Höhen nimmt er so sehr ab, daß die Gefäßwände dem Blute keinen Widerstaud mehr leisten können; sie reißen ein und der Mensch blutet aus dem Mund, aus den Augenliedern, aus den Athmungsorganen.

Es ist also zunächst nicht das Gewicht der Luft, was den Luftdruck hervorbringt, sondern das Expansionsbestreben, die Elasticität der Luft, welche mit ihrer Dichtigkeit zunimmt. Diese Dichtigkeit wird durch äußeren Druck erhöht; und wir kehren hier zu einem Gesetze zurück, welches schon bei den Cohäsionszuständen kurz erwähnt worden ist. Dieses Gesetz lautet: wenn bei einem gewissen Drucke ein Gas einen Cubikfuß Rauminhalt hat, so wird bei doppeltem Drucke sein Rauminhalt blos die Hälfte eines Cubikfußes betragen; der Rauminhalt eines Gases verhält sich umgekehrt, wie der Druck, welchem das Gas ausgesetzt ist. Wir erhöhen die Dichtigkeit der Luft in der Windbüchse, indem wir in den Stiefel derselben eine Luftquantität hineinpressen, welche acht- bis zehnmal die gewöhnliche Quantität übersteigt; wird der Stiefel beim Losdrücken der Büchse geöffnet, so dehnt sich die zusammengedrückte Luft auch mit größerer Gewalt aus und treibt die Kugel aus dem Rohre. Umgekehrt verdünnen wir die Luft künstlich durch Verminderung des äußeren Druckes in unsern Luftpumpen.

Was in diesen Fällen der äußere Druck leistet, nämlich eine gewisse Menge von Gas auf einen kleineren Raum zurückzuführen, das kann auch auf andere Weise bewerkstelligt werden. Feste Körper üben auf Gase eine solche Anziehung aus, daß sie diese an ihrer Oberfläche verdichten, condensiren; so wird die atmosphärische Luft an der Oberfläche von Platinablech verdichtet. Besonders stark geschieht aber diese Condensation

Digitized by Google

durch poröse Körper; Holzkohle verdichtet in ihren Poren eine Quantität von kohlensaurem Gas, welche zwanzigmal ihren eigenen Rauminhalt übersteigt; flüchtige Riechstoffe bleiben in Haaren besonders lang haften. Während nun die festen Körper die Gase nur in dünnen Schichten an ihrer Oberfläche festhalten, nehmen tropfbare Flüssigkeiten die Gase in ihr Inneres auf. Das kohlensaure Gas, welches beim Oeffnen von Bier- oder Champagnerflaschen sich entbindet, war in der Flasche selbst nicht sichtbar gewesen; hier hatte die Flüssigkeit das Gas aufgelöst, absorbirt erhalten. Bei dieser Absorption der Gase findet nicht immer, aber doch sehr häufig eine Verdichtung derselben statt; so nimmt ein gewisses Volumen, z. B. ein Cubikfuß Wasser beim gewöhnlichen Luftdrucke nur $^1/_{20}$ Volumen atmosphärische Luft und nur ein Volumen kohlensaures Gas auf; aber durch äußeren Druck kann das letztere leicht bis zum zwei- und dreifachen Volumen gesteigert werden, und von anderen Gasen absorbirt das Wasser noch viel größere Quantitäten, so vom salzsaurem Gase bis zum 280fachen Volumen. Diese Gasabsorption ist für die Oekonomie der Natur von unberechenbarer Wichtigkeit. Wo das Wasser in kleineren oder größeren Adern die feste Erdrinde durchzieht, wo es an der Oberfläche Quellen, Flüsse, Meere bildet, enthält es überall Gase, welche in den Stoffwechsel der Gesteine, der Pflanzen und Thiere energisch eingreifen; die inneren Säfte der Pflanzen, das Blut der Thiere führen Luftarten mit sich, die durch den Athmungsproceß theils aufgenommen theils ausgeschieden werden, und für das ganze Leben der Organismen unentbehrlich sind.

Endlich haben wir aber noch anzuführen, welche bedeutende Rolle die Diffusion der Gase im großen Haushalte spielt. Kohlensaures Gas ist anderthalbmal schwerer als atmosphärische Luft; man sollte daher denken, jenes würde in dieser auf dieselbe Weise untersinken, wie ein Stück Eisen in Wasser zu Boden fällt. Nimmt man aber eine Flasche mit atmosphärischer Luft und befestigt sie über der offenen Mündung

Digitized by Google

einer Flasche, welche kohlensaures Gas enthält, so bleibt das letztere nicht unter der darüberstehenden atmosphärischen Luft liegen; sondern vermöge der Anziehung, welche verschiedene Gase auf einander ausüben, vermöge ihrer großen Neigung sich zu diffundiren steigt kohlensaures Gas in die obere Flasche hinauf, atmosphärische Luft in die untere Flasche herab, und diese Bewegung dauert gegen die Gesetze der Schwere so lange fort, bis die zwei Gase in beiden Flaschen gleichmäßig gemischt sind. Was hier im Kleinen geschieht, wiederholt sich an der Erdoberfläche überall im Großen; wo Thiere athmen, wo pflanzliche Stoffe verwesen oder verbrennen, entsteht überall kohlensaures Gas; ohne die Diffusion der Gase müßte sich dieses an einzelnen Stellen der Erdoberfläche auf gefährliche Weise ansammeln; aber sobald es entsteht, mischt es sich mit der atmosphärischen Luft und bildet gegenüber von dem ungeheuren Uebergewichte dieser nur eine unbedeutende, unschädliche Luftart, nur vier Zehntausendtheile von dem Rauminhalte der ganzen Atmosphäre.

Die tropfbaren Flüssigkeiten haben mit den Gasen die Eigenschaft gemein, nicht blos auf ihre Unterlage, sondern auch nach den Seiten Druck auszuüben. Wenn sich Wasser in einem Gefäß befindet, so drückt es eben so sehr auf die Seitenwände, als auf den Boden des Gefäßes; das Meer und die Flüsse drücken überdieß von allen Seiten auf die Thiere und Pflanzen, welche in ihnen leben. Aber es ist nicht möglich, diesen Druck von einem Expansionsbestreben abzuleiten, welches den tropfbaren Flüssigkeiten fehlt; sondern der Druck wird hier, wie bei den festen Körpern, durch die Schwere allein veranlaßt. Tropfbare Flüssigkeiten gleichen durch die große Verschiebbarkeit ihrer Theile einem sehr feinen Sande. Denkt man sich nun auf der einen Seite Wasser, auf der andern Seite feinen Sand in ein cylindrisches Gefäß eingeschlossen, so werden beide die cylindrische Form sogleich verlieren, wenn man die Seitenwände des Gefäßes wegnimmt; diese seitlichen Wände verhindern, daß

Digitized by Google

Wasser und Sand nach den Seiten zerfließen, daß sie durch Verschiebung ihrer einzelnen Theilchen dem Gesetz der Schwere folgen. Darum also, weil die Seitenwände eines Gefässes das seitliche Zerfließen der tropfbaren Flüssigkeiten verhindern, erleiden sie von diesen gleichfalls einen Druck; aber auch für diesen Druck ist die Schwere die entferntere Ursache, und es erklärt sich daraus von selbst, warum die freie Oberfläche der tropfbaren Flüssigkeiten keinen Druck nach oben ausübt, sondern mit einer völlig horizontalen Fläche die Wassermasse abschließt. Hieran reihen wir noch das weitere Gesetz an, daß Flüssigkeiten, welche in oben offenen, unten communicirenden Gefässen c und d sich befinden, nur dann im Gleichgewichte sind, wenn die Spiegel in beiden Gefässen gleich hoch, bis zur Linie ab stehen. Die Natur und die Werke des menschlichen Fleißes liefern für dieses Gesetz zahlreiche Beispiele. Sollen die Brunnen einer Stadt von einem einzigen großen Wasserbehälter aus gespeist werden, so muß der Spiegel dieses Behälters wenigstens so hoch stehen, als die Röhre des höchstgelegenen Brunnens. Natürliche Wasserbehälter, welche unter dem Erdboden von einer gewissen Höhe sich bis ins Thal herab ziehen, geben an ihrem untern Ende Veranlassung zu artesischen Brunnen; das Wasser erhebt sich hier in Röhren zu der gleichen Höhe mit dem oberen Ende des Wasserbehälters.

Endlich haben wir von der Anziehung zu sprechen, welche feste Körper auf tropfbare Flüssigkeiten in ähnlicher Weise, wie auf Gase, ausüben. Wenn man in ein Wassergefäß eine weite Glasröhre taucht, so steigt das Wasser in dieser so lange empor, bis der innere Spiegel dem äußeren gleich wird. Nimmt man aber zu diesem Versuch eine enge Glasröhre, so erhebt sich in ihr das Wasser über den äußeren Spiegel; das Umgekehrte geschieht mit Quecksilber; es bleibt in der engen Röhre unter dem äußeren Spiegel zurück. Dieser Widerspruch löst

sich sehr einfach durch die Betrachtung, daß dem Wasser eine Adhäsion am Glase zukommt, welche dem Quecksilber fehlt. Die Adhäsion ist also die Ursache, daß Wasser in engen Röhren emporsteigt, und ihre Abwesenheit bewirkt, daß das Quecksilber nicht einmal die Höhe des äußeren Spiegels erreicht. Jene Kraft wirkt um so stärker, je enger die Röhren sind; so steigt das Wasser in einer Röhre von $^9/_{10}$ Linien Durchmesser etwas über 6 Linien, in einer Röhre von $^9/_{20}$ Linien über 13 Linien, endlich in einer Röhre von nur $^9/_{200}$ Linien Weite über 130 Linien empor. Die Höhen der gehobenen Flüssigkeiten verhalten sich also umgekehrt wie die Durchmesser der Röhrchen. Man nennt solche enge Röhren Capillarröhren; die Erscheinung selbst bezeichnet man als Capillarität und die Kraft, mit welcher die Röhrchen auf Flüssigkeiten wirken, als Capillarattraktion. Aus dieser Anziehung erklären sich viele und alltägliche Vorgänge. Wenn in ungeleimtem Papier sich Flüssigkeiten nach allen Seiten verbreiten, so geschieht dieses durch die Capillarattraktion der feinen, länglichen Zwischenräume des Papiers; auf die gleiche Weise steigen Flüssigkeiten in Baumwollefäden empor. Noch größere Wichtigkeit gewinnt aber die Capillarität durch ihre Anwendung auf thierische und pflanzliche Theile. Eine thierische Haut, z. B. eine Blase, oder eine pflanzliche Haut, z. B. die Membran einer Pflanzenzelle, verhalten sich zu tropfbaren Flüssigkeiten wie poröse Körper; sie werden auch gegen das Gesetz der Schwere von Flüssigkeiten durchdrungen, und diese gelangen dadurch von der einen Seite der Membran auf die andere hinüber. Auf solche Weise geschieht alle Nahrungsaufnahme bei organischen Körpern; denn diese nehmen nirgends die Nahrungsstoffe geradezu durch offene Mündungen in ihr Inneres auf; sondern unser Blutgefäßsystem ist ebensogut als die einzelne Pflanzenzelle rings geschlossen, und nur durch organische Häute können die äußeren Stoffe ins Innere, in die eigentliche Säftemasse der Organismen übergehen.

Wir glauben hiemit alles gesagt zu haben, was von den

Digitized by Google

Gesetzen der Bewegung und des Gleichgewichts für unsere späteren Untersuchungen, insbesondere für das Verständniß der thierischen Bewegungen nothwendig ist. Man begreift die Gesetze des Gleichgewichtes gewöhnlich unter der Statik, für die tropfbaren Flüssigkeiten unter der Hydrostatik; die Gesetze der Bewegung werden unter der Dynamik, für tropfbare Flüssigkeiten unter der Hydrodynamik zusammengefaßt. Auf alles aber, auf Gleichgewicht und Bewegung bezieht sich die Mechanik der Körper. Wir haben schon bisher jede Gelegenheit benützt, um zu zeigen, welche allgemeine Anwendung die mechanischen Gesetze finden. Hier soll aber noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die Versuche, welche wir in unsern Laboratorien machen, nichts anderes zu Tage fördern, als die umfassenden Regeln, nach denen sich Gestirne und Thiere ebensogut bewegen, als Steine, Gewässer und Winde. Die Eigenthümlichkeit der einzelnen Körper macht sich gegenüber den allgemeinen Bewegungsgesetzen nur wenig geltend; es kommt hier nur die Cohäsionsform und das specifische Gewicht in Betracht. Jetzt ist es aber Zeit, von den allgemeinen Formen der Bewegung zu besondern Arten derselben weiter zu gehen. Für den Stoß und Druck der umgebenden Körper sind die Tastnerven unserer Haut die passenden Sinnesnerven; die eigenthümliche Bewegung, von der wir jetzt zuerst zu handeln haben, nämlich der Schall, gelangt zu unserem Bewußtsein durch das Ohr und die Gehörnerven.

4) **Schall.** Wenn man einen Stein in Wasser wirft, so verbreiten sich von der Stelle des Wurfes aus kreisförmige Wellen nach allen Seiten der Wassermasse hin. Der erste Anblick läßt glauben, daß das Wasser selbst an der Oberfläche sich vom Mittelpunkte gegen den Umfang in Wellenform bewege; aber wenn man Gegenstände, welche auf der Wasseroberfläche schwimmen, Bretter, Pflanzen, beobachtet, so sieht man bald, daß nicht die Welle selbst, sondern nur der Anstoß zur Wellenbildung

Digitized by Google

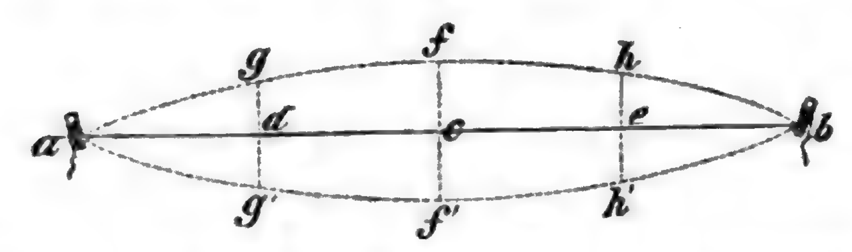
vom Mittelpunkte aus fortschreitet. Der Stein, welcher in den See fällt, verdrängt Wasser aus der Stelle, und dieses sammelt sich im nächsten Umfange zu einer kreisförmigen Erhebung, zur ersten Welle an. Nach außen sinkt diese durch die Wirkung der Schwere wieder zusammen; aber ihr Sinken gibt am äußeren Rande zur Bildung einer neuen Welle Anlaß, und so geht es bis auf eine gewisse Entfernung weiter; wo die eine Erhebung sich verflacht, steigt neben ihr eine neue empor; aber mit der Entfernung vom Mittelpunkte nimmt die Wirkung des Stoßes ab; die Wellen werden immer flacher, und endlich hört alle Wellenbildung auf. Bei dieser alltäglichen Erscheinung werden die Wassertheilchen von zwei Kräften abwechselnd bewegt, einmal von dem Stoße gehoben, dann durch die Schwere gegen den Erdmittelpunkt gezogen, und die abwechselnden Hebungen und Senkungen schreiten durch die Masse des Wassers von einem Punkte zum andern fort. Wird hingegen ein eiserner Stab mit dem einen Ende durch eine Klammer festgehalten und mit dem andern Ende aus der geraden Richtung heraus auf die eine Seite gezogen, so fängt er an, mit dem freien Ende Bewegungen zu machen, welche abwechselnd von der einen zu der andern Seite gehen und so lange fortdauern, bis die Cohäsion über den anfänglichen Stoß wieder völlig mächtig geworden ist. Gegenüber von den fortschreitenden Wellen der Wasseroberfläche bietet der schwingende Stab ein Beispiel von stehenden Wellen dar. Seine Schwingungen sind denen des Pendels ähnlich, beide Körper sind durch einen äußeren Stoß aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht, und indem sie sich bestreben, diese wieder anzunehmen, schwingen sie abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen über dieselbe hinaus; aber beim Pendel stellt die Schwere, beim Stabe die Cohäsion das Gleichgewicht endlich wieder her.

Diese zwei einfachen Beispiele enthalten die Grundzüge der ganzen Lehre vom Schall; denn wo Töne, Geräusche, Klänge vernommen werden, liegt nichts anderes den Erscheinungen zu

Digitized by Google

Grunde, als Schwingungen der Körper, stehende oder fortschreitende Wellen.

Dem schwingenden Metallstabe gleicht zunächst die Saite, welche an beiden Enden befestigt und stärker oder schwächer



angespannt ist. Ihre Theilchen bewegen sich bei gestörtem Gleichgewichte bald nach der einen bald nach der andern Seite hin; und der einfachste Fall ist der, wo alle Theilchen zugleich nach derselben Seite ausschwingen. Am schwächsten ist die Bewegung in der Nähe der Befestigungspunkte a und b, am stärksten in der Mitte der Saite, in c, und diese wölbt sich bald nach rechts bald nach links zu einem flachen Bogen hinaus. Es ist nicht schwer, an einer Saite von größerer Länge und Dicke diese Schwingungen zu sehen und zu fühlen; aber die Schnelligkeit der Bewegungen macht es schwierig, sie zu zählen. Hier gilt nun das Gesetz, daß gespannte Saiten und überhaupt schwingende Körper nur dann einen Ton hervorbringen, wenn ihre Schwingungen sich regelmäßig und in nicht zu langen Zwischenräumen folgen; fehlen diese zwei Bedingungen, so ruft die Erschütterung der Körper nur ein Geräusch hervor. Insbesondere muß die Zahl der Schwingungen in Einer Sekunde wenigstens 7 bis 8 betragen; das Ohr nimmt dann einen Ton von bedeutender Tiefe wahr; am andern Ende wird noch ein sehr hoher Ton gehört, welchem 24000 Schwingungen in der Sekunde entsprechen. Zwischen diesen beiden Punkten liegt eine reiche Fülle von Tönen, welche verschiedene Schwingungszahlen und ebendamit eine verschiedene Höhe und Tiefe haben; unser Ohr ist im Stande, alle von einander zu unterscheiden, und wahrscheinlich vernimmt es auch noch Töne, deren Schwingungszahl 24000 in der Sekunde übersteigt. Wir stehen mit diesen Thatsachen schon mitten

Digitized by Google

in einem reichen Felde der Beobachtung. Nicht blos die Höhe und Tiefe der Töne, sondern fast alle Unterschiede im Schalle der Körper lassen sich auf mathematische Gesetze zurückführen; und was die Natur bis in's Kleinste hinaus gesetzmäßig wirkt und bewegt, das unterscheidet unser Gehörorgan mit so großer Schärfe, daß unsere physikalischen Vorrichtungen unsern organischen Apparat an Genauigkeit noch lange nicht erreicht haben.

Vor Allem steigt also die Höhe des Tones mit der Zahl der Schwingungen; aber die Töne einer Oktave weichen von einander nicht blos im Allgemeinen durch die verschiedenen Schwingungszahlen ab, sondern der Unterschied dieser Schwingungen läßt sich durch bestimmte Verhältnisse bezeichnen. Gehen wir z. B. von einem beliebigen c eines Saiteninstrumentes als Grundton aus, so verhält sich seine Schwingungszahl zu der des nächsthöheren c wie 1 zu 2, und auch die zwischenliegenden Töne ordnen sich nach einer festen Regel, so daß die Schwingungszahlen aller Töne einer Oktave in folgendem Verhältniß zu einander stehen:

c	d	e	f	g	a	h	c
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

In derselben Weise steigt die Schwingungszahl auch weiterhin; wenn sie beim c der tiefsten Oktave gleich 1 ist, so entspricht das c der zweiten Oktave der doppelten, das c der dritten der dreifachen, das der vierten der vierfachen Schwingungszahl.

Die Zahl der Schwingungen hängt zunächst von der Beschaffenheit der Saite ab; und auch dieses Verhältniß wird durch Zahlen mit mathematischer Sicherheit bestimmt. Die Schwingungszahl verhält sich umgekehrt wie die Länge der Saite; um also einen Ton von doppelter Schwingungszahl, z. B. das c der zweiten Oktave hervorzubringen, braucht man nur die anfängliche Saite in zwei Hälften zu theilen; die halbe Saite

Digitized by Google

macht zweimal, die drittelgroße dreimal, die viertelgroße viermal so viel Schwingungen in der Sekunde, als die einfache Saite. Dann schwingt aber eine Saite um so schneller, je dünner sie ist; und zwar verhält sich die Schwingungszahl umgekehrt wie die Dicke; bei gleicher Länge und Spannung wird eine Saite von bestimmter Dicke um eine Oktave höher klingen, als die Saite von doppelter Dicke. Endlich kommt der Cohäsionszustand der Saite noch auf zweierlei Art in Betracht. Die Schwingungszahl steigt mit der Spannung, sie nimmt ab mit der Dichtigkeit der Saiten, und zwar beidemale im Verhältniß der Quadratwurzeln. Wenn das Gewicht, durch welches eine Saite angespannt ist, viermal so groß wird, so entsteht daraus eine doppelte Schwingungszahl; im Gegentheil schwingt eine Saite, deren Dichtigkeit viermal so groß ist, als die einer anderen, zweimal langsamer als diese. Wenn man Länge, Dicke, Spannung und Dichtigkeit mehrerer Saiten kennt, so läßt sich also mit Bestimmtheit schließen, in welchem Verhältniß ihre Schwingungszahlen und ebendamit ihre Töne zu einander stehen werden.

Es ist kaum nöthig darauf hinzuweisen, in welchen Instrumenten schwingende Saiten zur Hervorbringung der Töne benützt werden; die Geige, die Guitarre, das Klavier sind naheliegende Beispiele. Während aber hier der schwingende feste Körper an beiden Enden befestigt ist und erst hierdurch tönend wird, können auch Metallstäbe tönen, welche nur an einem Ende festsitzen und mit dem andern frei schwingen; die Maultrommel und die Mundharmonika machen diesen Fall sehr leicht deutlich. Solche Stäbe befolgen dasselbe Bewegungsgesetz wie die ihnen ähnlichen Pendel; beide haben eine um so größere Schwingungsdauer, je länger sie sind, und zwar verhält sich jene wie die Quadratwurzel aus der Länge; bei einem viermal längeren Stabe oder Pendel dauert die Schwingung zweimal so lang. Daraus folgt natürlich weiter, daß ein längerer Stab in derselben Zeit weniger Schwingungen vollbringt, als ein

Digitized by Google

kürzerer; die Schwingungszahl verhält sich also hier umgekehrt wie die Quadratwurzel aus der Länge, nicht wie die einfache Länge. Auf diese Weise schwingen metallische Stäbe, Platten und Zungen; und dieselben Gesetze gelten im Wesentlichen von den gebogenen metallischen Scheiben, von den Glocken. Aber die Schwingungsgesetze sind schon bei den einfachen Stäben weniger genau festzustellen als bei den Saiten; und je complicirter die Form der festen Körper wird, desto schwerer ist es, die allgemeinen Regeln auf die einzelnen Fälle durchgreifend anzuwenden.

Noch verwickelter gestalten sich die Verhältnisse bei denjenigen Tönen, welche durch Schwingungen von Gasen, insbesondere von atmosphärischer Luft, entstehen; die Luft tönt in hohlen Schlüsseln, in Pfeifen, Flöten und in einem Theile der Röhren der Orgel. Der Stoß, welcher hier den Ton erregt, wird durch Luftströmungen, durch Anblasen mit dem Munde oder mit dem Blasbalge hervorgebracht; er drückt die Luft zusammen, und wenn er nachläßt, dehnt sich die Luft wieder aus. Auf solche Weise entsteht eine Reihe von rasch abwechselnden Compressionen und Expansionen der Luft, und diese erzeugen den Ton gerade so, wie die Schwankungen, welche die angesprochene Saite erleidet, wenn sie ihre Gleichgewichtslage wieder einzunehmen sucht; die Expansion der Gase leistet gegen den äußern Stoß das Gleiche, was die Cohäsion der festen Körper geleistet hatte. Auch hier hängt die Höhe der Töne zunächst von der Dauer der einzelnen Luftschwingung ab; so gibt das tiefste C der Orgel in der Sekunde nur 32 Schwingungen, das nächste oder Contra-C 64, das große C 128, das kleine c 256, das eingestrichene c 512, das zweigestrichene 1024, das dreigestrichene 2048. Aber die Schwingungszahl läßt sich nicht mit derselben Einfachheit, wie bei den Saiten, aus den Verhältnissen der Röhren ableiten. Wenn sonst alles andere gleich ist, so gibt von zwei ungleich langen, an dem einen Ende geschlossenen Röhren die halbsolange die doppelte Schwingungs-

Digitized by Google

zahl, die 16fußige Orgelpfeife 64, die 8fußige 128 Schwingungen in der Sekunde; die Schwingungszahl würde sich also auch hier umgekehrt wie die Länge verhalten. Indeß werden die Töne einer und derselben Röhre durch andere Umstände mannigfach abgeändert. Vor Allem ist der Ton tiefer, wenn die Pfeife schwach, höher, wenn sie stark angeblasen wird; dann wirken die Breite und Höhe des Mundloches, die Weite und die Substanz der Röhren auf die Töne bald mehr bald weniger ein. Alles dieses sind Bedingungen, welche sich bis jetzt nicht ganz mathematisch begründen lassen und denen eher durch die praktische Uebung der Instrumentenmacher, als durch genaue Berechnungen genügt werden kann.

Endlich hat man Instrumente construirt, bei welchen der Ton zugleich durch feste Körper und durch die Luft erzeugt wird. Die Clarinette, die Hoboe, das Fagott tönen nicht allein durch die Schwingungen der in ihnen enthaltenen Luft; sondern im obersten Ende ihrer Röhren sind elastische Blätter aus hartem Holze befestigt; diese schwingen beim Anblasen zuerst und versetzen nachher die Luft in Schwingungen. Holz und Luft schwingen auf verschiedene Weise; aber die beiderlei Schwingungen wirken gegenseitig auf einander, und hieraus entsteht der einfache Ton jener Instrumente. Aehnliche Vorrichtungen besitzt die Orgel in ihren Zungen- oder Rohrwerken. Aber diese Zungen oder schwingenden Blätter müssen nicht immer aus Metall oder Holz bestehen, sondern man kann für sie auch Substanzen wählen, welche, wie die Saiten, erst durch Aufspannung fähig werden zu tönen. Dahin gehört elastisches Gummi, welches entweder nur als Streifen saitenartig angespannt, oder mit dem ganzen Rande auf einem Rahmen befestigt wird; dahin gehören aber insbesondere auch die menschlichen Lippen, deren Schwingungen bei manchen Blasinstrumenten zur Bildung des Tones wesentlich beitragen. Wenn beim Horn, bei der Trompete und Posaune die Lippen fest an das Mundstück angedrückt werden, so gerathen sie zuerst selbst in Schwingungen, und erst von ihnen

Digitized by Google

aus theilt sich die Bewegung der im Instrumente enthaltenen Luft mit. Ein natürlicher Apparat von derselben Construktion ist endlich das menschliche Stimmorgan; es muß den späteren Erläuterungen überlassen bleiben, zu zeigen, wie die menschliche Stimme vorzüglich durch die Schwingungen der elastischen Stimmritzenbänder des Kehlkopfes entsteht. Diese werden angesprochen durch die Luft, welche von unten her, aus der Luftröhre, gegen sie strömt; sie theilen ihre Schwingungen der Luft mit, welche im obern Theil des Kehlkopfes, im Schlunde, in der Mund- und Nasenhöhle enthalten ist, und diese Hohlräume wirken wie die Röhre einer Clarinette modificirend auf den Ton der Stimmritzenbänder ein. Wie die Bewegung der menschlichen Glieder den Gesetzen des Hebels folgt, so wird auch der Ton im menschlichen Organismus ganz nach den Grundsätzen hervorgebracht, welche überhaupt für das Tönen der Körper gelten.

Töne und Geräusche entstehen also nicht durch ein bloßes Erzittern der kleinsten Theilchen, sondern durch pendelartige Schwingungen im Innern der Körper. Immer werden die einzelnen Theile der Körper durch einen äußeren Stoß aus ihrem Gleichgewicht gebracht, z. B. bei den Saiten verschoben, bei der Luft zusammengedrückt, und indem sie einmal durch ihre Cohäsion, das anderemal durch ihre Expansivkraft das Gleichgewicht wieder herzustellen suchen, kommen auf die angegebene Weise Schwingungen zu Stande, welche sich öfters hinter einander wiederholen, und bei unregelmäßiger Wiederkehr als Geräusche, bei regelmäßiger als Töne von unserm Ohre vernommen werden. Im Ganzen sind Körper von allen Cohäsionsformen im Stande, Schall hervorzubringen; so entsteht ein Geräusch in der Luft, wenn man sie rasch mit der Peitsche durchschneidet, im Wasser, wenn man mit der flachen Degenklinge daraufschlägt, in Steinen, wenn man mit dem Hammer auf sie klopft. Aber ein stärkerer Schall und insbesondere ein Ton wird doch nur von Körpern erzeugt, welche durch ihre Cohäsionsweise vorzüglich zu Schallschwingungen geeignet sind. Da-

Digitized by Google

hin gehören zuerst die Gase vermöge ihrer eigenthümlichen Elasticität, d. h. vermöge ihrer Fähigkeit, abwechselnd dem äußern Drucke nachzugeben und dann sich wieder auszudehnen; dahin gehören ferner die elastischen festen Köeper, welche eine leichte Verschiebung ihrer Theilchen durch äußeren Stoß zulassen, aber sogleich wieder in ihre vorherige Gleichgewichtslage zurückstreben. Unter den festen Körpern nehmen die Metalle die erste Stelle ein, und nach ihnen folgen Glas und Holz; andere feste Körper, wie Darmsaiten, elastisches Gummi, Thierfelle, erhalten erst durch Anspannung denjenigen Grad von Elasticität, welcher zur Hervorbringung von Tönen nothwendig ist. Die tropfbaren Flüssigkeiten lassen sich nur äußerst wenig zusammendrücken, und ihre Expansivkraft ist ebendamit beinahe gleich Null; auf der andern Seite werden ihre Theilchen sehr leicht verschoben; aber sie kehren aus der Verschiebung nicht wieder rasch in ihre vorige Lage zurück, und es fehlt daher den tropfbaren Flüssigkeiten auch die Elasticität der festen Körper. Da nun die Gase vermöge ihrer Expansibilität, die festen Körper vermöge ihrer Elasticität Schall erzeugen, so leuchtet von selbst ein, daß die tropfbaren Flüssigkeiten zur Hervorbringung des Schalles sehr wenig, zur Hervorbringung von Tönen gar nicht geeignet sind.

Ueberall an der Erdoberfläche finden sich feste Körper oder Luft; überall ist daher die Bildung von Schall, von Geräuschen oder Tönen möglich gemacht. Die Luft klingt, ob sie im Sturm an schroffen Bergen oder an den hochaufgethürmten Wogen des Meeres sich bricht. Felsblöcke und Lawinen verbreiten weithin ihr Getöse, wenn sie aus der Höhe in das tieferliegende Land herabstürzen. Die Wassermassen der Erde, welche für sich wenig klingen, erregen mächtigen Schall, wenn sie die Ufer des Meeres erschüttern. Aber in allen diesen Fällen hört das menschliche Ohr blos lautere oder leisere Geräusche; Töne entstehen nur dann, wenn eine eigenthümliche Vereinigung von Umständen die Schallschwingungen rasch und regelmäßig wieder-

Digitized by Google

kehren läßt. Diese höhere Stufe des Schalles vermag die Natur kaum irgendwo anders zu erreichen, als in eigenen organischen Apparaten, in den Stimmorganen der Thiere. Die Stimme der Vögel enthüllt schon einen hohen Reichthum von Tönen; aber der Mensch entwickelt sein Stimmorgan mit klarem Bewußtsein zur Hervorbringung der mannigfaltigsten Tonfülle, und die einzelnen Gebiete der Töne, welche in seiner Stimme vereinigt sind, bildet er noch weiter in seinen musikalischen Instrumenten aus.

Die Körper klingen und tönen aber nicht für sich allein, sondern wir erkennen schon aus unserm Hören sehr deutlich, daß ein Körper am Schall des andern theilnimmt, daß der Schall von dem klingenden Körper aus sich weiter verbreitet. Hieher ist vor Allem das Mittönen, die Resonanz der Körper zu zählen. Der Ton des Klaviers wird dadurch bedeutend verstärkt, daß die Schwingungen der Saiten sich dem hölzernen Resonanzboden mittheilen, daß dieser in derselben Weise vibrirt. Eine schwingende Stimmgabel, welche über die Mündung eines leeren Arzneiglases gehalten wird, macht die Luft des Glases in dem richtigen Tone mitklingen. Ebenso bemerkt man häufig bei den Erschütterungen der Luft, die wir als Donner bezeichnen, ein Klirren der Fensterscheiben; und das eigenthümliche Brausen, welches das Ohr an den Mündungen von Muscheln wahrnimmt, findet seine Erklärung darin, daß die abgegränzte Luft der Muscheln die leisen Geräusche der umgebenden Atmosphäre wiederholt und verstärkt. Alle diese Beispiele zeigen, daß schwingende Körper, seien sie nun gasförmig oder fest, in andern Körpern analoge Schwingungen hervorrufen können, welche den ersten Ton oder das erste Geräusch stärker machen.

Aber von der Resonanz ist die Leitung oder Fortpflanzung des Schalles wesentlich verschieden; hier wird nicht ein Körper durch die stehenden Schwingungen des andern zu der gleichen Bewegung veranlaßt; sondern die Schallwellen verbreiten sich von einem Punkte aus fortschreitend über die umgebenden Körper.

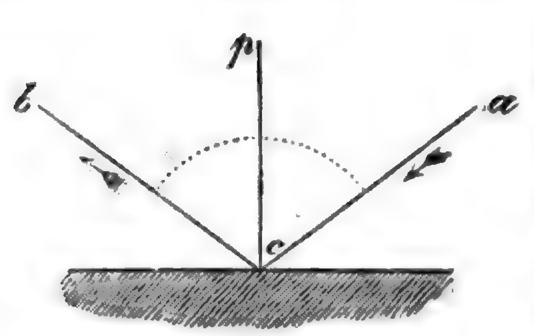
Digitized by Google

Die Stärke des Schalles nimmt bei seiner Fortpflanzung ab, und zwar in demselben Maaße, in welchem sich die Schwerkraft bei der Entfernung vom Erdmittelpunkte vermindert; die Abnahme entspricht dem Quadrate der Entfernung, so daß bei zweifacher Entfernung der Schall viermal, bei dreifacher neunmal schwächer wird. Da nun der Schall keine eigene Materie, sondern nur die Folge von Schwingungen der Körper ist, so bedarf er die letzteren sowohl zu seiner Bildung als zu seiner Fortpflanzung. Im luftleeren Raume wird der Schall gar nicht fortgeleitet; seine Fortpflanzung hängt nicht von der Expansivkraft oder Elasticität der Körper, sondern nur von dem Grade ihrer Cohäsion ab; je cohärenter ein Körper ist, desto schneller leitet er den Schall. In der atmosphärischen Luft bewegt sich der Schall bei 0° Temperatur und bei mittlerem Barometerstande mit einer Geschwindigkeit von 1022½ Fuß in der Sekunde. Daß auch das Wasser den Schall leitet, läßt sich leicht beweisen, wenn man während des Untertauchens unter Wasser zwei Steine aneinander schlägt; die Geschwindigkeit beträgt hier 4357 Fuß. Endlich ist es eine bekannte Sache, daß feste Körper den Schall besser leiten als atmosphärische Luft; der Klang eines metallenen Stabes verstärkt sich sehr, wenn man diesen durch Fäden mit dem äußern Gehörgang in unmittelbare Verbindung bringt; man legt das Ohr auf den Boden, um aus der Ferne das Rollen eines Wagens, das Stampfen von Rossen zu hören; aber die Geschwindigkeit ist hier theils nach der Substanz, theils nach der Form der Körper sehr verschieden; Zinn leitet 7½mal, Silber 9mal, Kupfer beinahe 12mal, Eisen und Glas 17mal schneller als atmosphärische Luft.

Die Fortpflanzung des Schalles geschieht am leichtesten, wenn er durch Körper von dem gleichen Cohäsionszustande geleitet wird. Geht er dagegen von dem einen Medium in ein anderes, verschiedenartiges über, so kehrt an den Gränzen des ersteren immer ein größerer oder kleinerer Theil der Schallwellen um. Insbesondere werden diese Wellen, wenn sie aus der Luft

Digitized by Google

in einen festen Körper gelangen, von der Oberfläche des letztern fast vollständig zurückgeworfen oder reflektirt; der Winkel, unter welchem sie sich von der Oberfläche entfernen, der sogenannte Reflexionswinkel pcb gleicht dem Winkel, unter welchem sie den Körper getroffen haben, dem sogenannten Einfallswinkel acp. Auf dieser Reflexion der Schallwellen beruht das Echo, welches insbesondere, aber nicht allein an der Oberfläche fester Körper, sondern auch an der Oberfläche des Wassers und der Wolken gebildet wird; es beruht hierauf ferner das Sprachrohr, welches die Schallwellen sich nicht zerstreuen läßt, sondern an seinen Wandungen so reflektirt, daß alle in paralleler Richtung sich weiter bewegen.



Die Schwingungen der äußeren Körper, insbesondere der atmosphärischen Luft, wirken nicht unmittelbar erschütternd auf unsern Gehörnerven; sondern der Schall wird diesem erst durch leitende Organe zugeführt. Die Leitung ist aber keine einfache; sie wird durch Körper von verschiedenen Cohäsionsformen, insbesondere durch tropfbare Flüssigkeiten und feste Theile vermittelt. Sie ruht auf einer so kunstreichen Combination der leitenden Medien, daß im Innern unseres Gehörorgans während seiner Gesundheit durchaus keine Verwirrung der Töne durch Reflexion oder mangelhafte Fortpflanzung stattfindet; aber es ist der Physik noch nicht gelungen, die einzelnen Theile des Gehörorgans nach ihrer physikalischen Bedeutung mit derselben Genauigkeit zu bestimmen, wie es durch die neueren Untersuchungen für das Stimmorgan geschehen konnte.

Wir haben den Schall durch die Schwingungen der Körper entstehen, wir haben ihn durch Körper von der verschiedensten Natur sich fortpflanzen sehen. Es ist klar geworden, wie die Schwingungen nach bestimmten mathematischen Gesetzen erfolgen, wie ihre Bildung und Leitung mit der Natur der

Digitized by Google

schwingenden Körper in einem sehr genauen, durch feste Zahlen und Größen bezeichneten Zusammenhange sich befindet. Aber gegenüber von der Gesetzmäßigkeit, welche hier deutlicher, als bei Cohäsion und Schwere, aus aller Mannigfaltigkeit der Erscheinungen hervorblickt, ist noch die unerklärliche Eigenthümlichkeit der Körper in Bezug auf Schallbildung hervorzuheben. Eine Flöte mag denselben Ton angeben wie eine Geige, und doch wird jeder die beiden Instrumente von einander unterscheiden; noch mehr zeichnet sich jede Menschenstimme bei derselben Tonhöhe vor jeder anderen aus. Man nennt dieses Eigenthümliche passend den Klang; und wir behaupten mit Recht, daß jeder Körper seinen eigenen Klang besitze. Während alle andern Verhältnisse des Schalles sich mathematisch analysiren und durchdringen lassen, bleibt die Eigenthümlichkeit des Klanges jeder mathematischen Lösung, jeder Zurückführung auf allgemeine Gesetze unzugänglich. Viel vernehmlicher, als in Härte, Elasticität, specifischem Gewicht, thut sich im Klange der Körper die Wahrheit des Satzes kund, daß unsre Maaße nicht hinreichen, um das Ganze des Körpers zu messen und zu bestimmen.

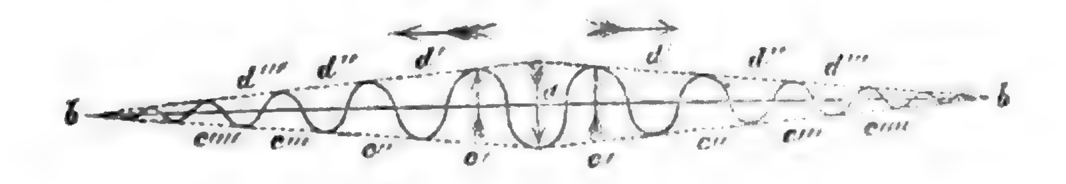
Unser Gehörorgan leitet die äußern Klänge in ihrer ganzen Eigenthümlichkeit, aber auf unerklärte Weise zu unserem Bewußtseyn, und da die Schallschwingungen nicht die Oberfläche, sondern die ganze Masse des Körpers bewegen, so läßt sich annehmen, daß wir durch unser Gehör etwas von der innern Beschaffenheit der Körper erfahren. Durch das menschliche Stimmorgan aber wird nicht allein das innere körperliche Verhalten, sondern die innere Bewegung der Seele selbst geoffenbart; und wo diese Bewegung durch die Vermittlung des Gehörs sich weiterhin mittheilt, da ergreift sie die Seelen der Andern in ungewöhnlich tiefer und nachhaltiger Weise. So ist der Schall zwar in allen Körpern möglich, aber er äußert sich in jedem auf eigenthümliche Art; er drückt die inneren Zustände und Bewegungen jedes einzelnen Körpers vernehmlich aus. In der unbeseelten Natur erregt er höchstens neue

Digitized by Google

Schwingungen; aber durch das Gehörorgan der Thiere ziehen Schallempfindungen in ihre Seelen ein, welche in diesen Lust oder Unlust erzeugen. Noch vielmehr wird die menschliche Seele durch den Schall bewegt. Der Donner des Gewitters, das Brausen der Stürme, das Getöse der Meeresbrandung erschrecken und erheben die Seele; das Gebrüll der Raubthiere erfüllt sie mit Angst, der Gesang der Vögel mit reinem Ergötzen. Aber erst durch den Ton der menschlichen Stimme werden alle Tiefen der Seele zu Trauer oder Entzücken, zu Schreck oder Zuversicht gestimmt; und alle Klänge der Natur wiederholt der Mensch harmonisch in seinen Instrumenten, durch deren Töne die Seele bald traurig oder weich gemacht, bald zu kräftigen Gedanken und Thaten ermuthigt und gestärkt wird.

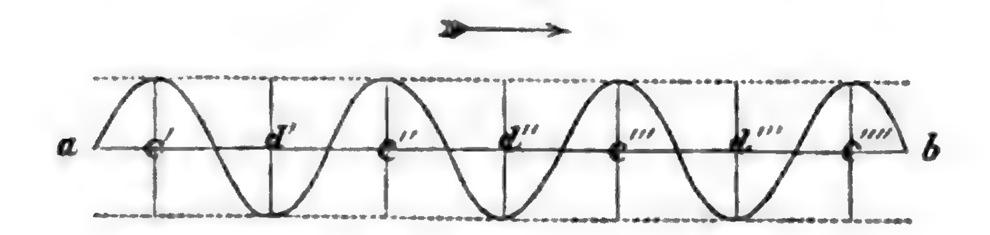
5) **Licht.** Es entspricht ganz der gewöhnlichen Anschauungsweise, das Licht für einen Stoff zu halten, welcher von der Sonne und überhaupt von leuchtenden Körpern ausgeht, und dessen Theilchen in unserem Auge die Empfindung von Helligkeit hervorrufen. So faßte auch Newton's Emissionstheorie die Natur des Lichtes auf. Aber spätere Untersuchungen haben die Unzulänglichkeit dieser Annahme zur Genüge gezeigt; und es wird von Tag zu Tag wahrscheinlicher, daß das Licht ebenso wie der Schall nichts andres ist als der Eindruck, welchen eigenthümliche Wellenbewegungen der Materie auf unsere Sinnesorgane machen.

Wir kehren noch einmal zu der Wellenbildung an der Oberfläche stehender Gewässer zurück. Es sei z. B. a der Punkt, an welchem durch einen Stein die Wasseroberfläche



niedergedrückt wird, so entstehen von hier aus nach b und b', überhaupt nach allen Seiten hin abwechselnde Erhebungen und

Senkungen, Wellenberge und Wellenthäler, welche gegen die Peripherie hin an Tiefe immer mehr abnehmen und endlich sich ganz verwischen. Der Stoß, welcher auf den Mittelpunkt gewirkt hat, wirkt von hier aus weiter, aber nicht, indem ein Körper, etwa ein Wassertheilchen, sich geradewegs vom Centrum zur Peripherie bewegt, sondern durch Hebungen und Senkungen, die senkrecht auf der Richtung der Fortpflanzung stehen und vom Centrum gegen die Peripherie hin über die Wasserfläche sich ausbreiten. Aehnlich verhalten sich die Lichtwellen.



Nehmen wir a als einen leuchtenden Punkt, b als unser Auge, so erhalten wir von jenem Punkte einen Lichteindruck nicht dadurch, daß Lichttheilchen sich geradezu von a nach b bewegen. Vielmehr erregt der leuchtende Punkt, ebenso wie der Stein, welcher ins Wasser fällt, rings um sich her Wellenbewegungen; es folgt unmittelbar ein Wellenberg c′, dann ein Wellenthal d′, und so fort bis zum Punkte b. Wie an der Wasseroberfläche die Erhebung c′ als die Ursache der Senkung d′, und diese wieder als die Ursache der Hebung c″ zu betrachten ist, so folgt auch hier aus der einseitigen Bewegung c′ die entgegengesetzte d′, aus dieser c″ und d″, c‴ und d‴, c⁗ und d⁗, aus einem Wellenberg immer ein Wellenthal und umgekehrt. Während also durchaus kein Stoff von a gegen b fortrückt, gelangt doch das Licht von einem Punkte zum andern, und zwar durch Wellen, welche von a gegen b erregt werden und selbst senkrecht auf der Richtung ihrer Fortpflanzung, d. h. der Fortpflanzung des Lichtes stehen. Die Lichtwellen übertreffen an Regelmäßigkeit und Beständigkeit die Wellen der Wasserfläche bei weitem: eine gleicht viel mehr der andern, und

Digitized by Google

ihre Abnahme geschieht erst in viel größeren Entfernungen vom Mittelpunkte.

Das erste, was bei den Lichtwellen in Betracht kommt, ist ihre Höhe; noch wichtiger aber ist die Länge der Welle. Man bezeichnet als Wellenlänge den Zwischenraum zwischen den Punkten c′ und c″, zwischen c″ und c‴, zwischen c‴ und c⁗, also die Strecke, welche zwischen zwei Erhebungen oder Wellenbergen liegt. Ebensogut aber ist eine Wellenlänge begränzt durch die Punkte d′ und d″, d″ und d‴, und sie stellt dann den Zwischenraum zwischen zwei Wellenthälern dar. Hiemit ist aber die Charakteristik der Lichtwellen noch nicht erschöpft. Denn so wenig als die Wellen der Wasseroberfläche, bleiben die Wellenberge und Wellenthäler der Lichtstrahlen nach ihrer einmaligen Bildung unverändert stehen. Wo das Wasser im Anfang eine Erhebung gebildet hatte, sinkt es nachher tiefer ein, und an den Stellen der anfänglichen Thäler schwillt es jetzt zu einem Berge an; und auf ähnliche Weise wechseln die Richtungen der Lichtwellen. Unmittelbar nachdem der Wellenberg c′ seine größte Höhe erreicht hat, schwingt seine Substanz nach der entgegengesetzten Seite, um ein eben so tiefes Wellenthal zu bilden; und umgekehrt entsteht an der Stelle des Thales d′ ein Wellenberg von entsprechender Höhe. Denkt man sich daher alle Abtheilungen des Lichtstrahles nicht successiv, sondern zu gleicher Zeit bewegt, so wird im ersten Momente c′, c″, c‴ und c⁗ nach der einen, d′, d″ und d‴ nach der entgegengesetzten Seite hin schwingen; im nächsten Augenblick wird die Richtung beider Gruppen sich geradezu umkehren, und so werden längere oder kürzere Zeit Schwingungen fortdauern, in welchen c′, c″, c‴ und d′, d″, d‴ sich zugleich, aber jede Gruppe nach der entgegengesetzten Seite hin bewegen. Jeder einzelne Abschnitt des Strahles verhält sich ganz auf dieselbe Weise, wie eine gespannte Saite, welche in entgegengesetzten Richtungen abwechselnd schwingt. Die Höhe der Lichtwellen entspricht der Schwingungsweite der Saite; die Wellenlänge

Digitized by Google

ist der Länge der Saite analog. Das Resultat der Schwingungen ist das einemal Schall, das andremal Licht.

Wir haben oben erwähnt, daß bei gleicher Spannung und in gleicher Zeit die längere Saite weniger Schwingungen macht als die kürzere; auch bei den Lichtwellen wächst die Dauer der einzelnen Schwingungen oder vermindert sich die Schwingungszahl mit der Wellenlänge. Ferner wurde die verschiedene Schwingungszahl als die Ursache der Höhe oder Tiefe der Töne angeführt; die doppelte Zahl der Schwingungen gab die nächsthöhere Oktave des Grundtones. Im Gebiete des Lichtes ergeben sich aus den verschiedenen Schwingungszahlen die einzelnen Farben; und während beim Schall 7 oder 8 Schwingungen in der Sekunde noch als sehr tiefer Ton vom Ohre wahrgenommen werden, beginnt die niedrigste Schwingungszahl der Lichtwellen gleich mit mehreren hundert Billionen in der Sekunde. Die größte Wellenlänge und ebendamit die niedrigste Schwingungszahl hat Roth, die geringste Länge und die höchste Zahl Violett. Zwischen diesen beiden Endpunkten folgen sieben Grundfarben so auf einander.

Farbe	Wellenlänge in Milliontheilen einer pariser Linie	Schwingungszahl in Billionen
Roth	275	451
Orange	258	480
Gelb	244	509
Grün	227	547
Blau	211	589
Indigo	199	624
Violett	187	662

Man sieht leicht ein, daß die Schallwellen an Beweglichkeit überaus weit hinter den Lichtwellen zurückstehen. Aber auch die Fortpflanzung geschieht beim Lichte mit ungleich grö-

ßerer Geschwindigkeit als beim Schalle; während dieser in der Luft nur 1022½ Fuß in der Sekunde zurücklegt, gelangen die Lichtschwingungen von der Sonne zur Erde mit einer Geschwindigkeit von 42,000 Meilen oder 966,000,000 Fußen. In jeder Beziehung also setzen die Schwingungen des Lichtes eine viel größere Elasticität der Materie als die Schallschwingungen voraus.

Man könnte daher sich veranlaßt sehen, für Schall und Licht gewisse Stoffe oder Materien anzunehmen, welche die Körper durchdringen und durch deren Schwingungen das einemal ein Gehör-, das andremal ein Gesichtseindruck entstünde; die Schallmaterie würde von der Lichtmaterie an Elasticität bedeutend übertroffen. Von der Annahme eines Schallstoffes ist man bald zurückgekommen; da nur wägbare Körper den Schall erzeugen und fortpflanzen, so hat man diese als unmittelbare Ursache des Schalles, als selbstschwingend anerkannt. Aber das Licht ist von viel allgemeinerer Verbreitung; es äußert sich nicht blos an den Körpern unserer Erdoberfläche, sondern es geht auch durch den luftleeren Raum, welchen wir künstlich hervorbringen, es durchdringt insbesondere die Zwischenräume der Himmelskörper. Da es nun völlig unbekannt ist, ob und welche Materie den Himmelsraum ausfüllt, so denkt man sich eine unwägbare, äußerst feine und elastische Substanz, den sogenannten Aether als Ausfüllung aller leeren Räume des Himmels; dieser Aether durchdringt zugleich alle gasförmigen, tropfbarflüssigen und festen Körper, indem er sich zwischen ihre Massetheilchen legt, und nicht er selbst, sondern seine Schwingungen sind es, welche auf unser Auge den Eindruck des Lichtes hervorbringen. Die Körper leuchten also nicht durch ihre eigene Bewegung, sondern durch die Schwingungen des in ihnen enthaltenen und sie überall umgebenden Lichtäthers. Es muß indeß bemerkt werden, daß diese Annahme einer unwägbaren Substanz unseren übrigen Erfahrungen widerspricht, in welchen wir nur wägbare, der Schwere unterworfene Körper ken-

Digitized by Google

nen, daß ferner dieser Aether uns durch keine anderen Eigenschaften als durch seine Licht erzeugenden Schwingungen bekannt und nirgends direkt nachweisbar ist. Die Annahme des Lichtäthers bleibt daher bis jetzt nur ein Nothbehelf der Physik; sie hat die Ergründung der Gesetze des Lichtes sehr gefördert, aber sie drückt eigentlich doch nur dieses aus, daß die wahre Natur des Lichtes uns bis jetzt unbekannt sei. Wir bedürfen für unseren besonderen Zweck diese Hypothese weniger; wir halten es für möglich, daß das Licht in ähnlicher Weise, wie der Schall, durch Schwingungen der wägbaren Stoffe selbst zu Stande komme. Die Luft eines Zimmers, die schwingenden Medien unseres Gehörorganes leiten zu gleicher Zeit und ungestört Schallschwingungen von der verschiedensten Richtung und Schwingungszahl; warum sollten nicht die wägbaren Körper neben den Schallschwingungen auch anders beschaffene Schwingungen, z. B. Lichtwellen, erzeugen und fortpflanzen?

Jedenfalls steht das Licht jetzt in Einer Klasse von Erscheinungen mit dem Schalle. Beide sind nicht eigene Stoffe, welche auf Auge und Ohr bestimmte Eindrücke hervorbringen, sondern sie beruhen auf eigenthümlichen, schwingenden Bewegungen der Materie. Von schallenden oder leuchtenden Körpern geht der Anstoß zu diesen Bewegungen aus; in andern Körpern werden die Schwingungen fortgepflanzt.

Die Entstehung der Bewegung ist beim Licht viel schwerer zu erklären als beim Schalle; dieser entsteht in den Körpern durch mechanische Stöße; das Licht aber wird auf sehr verschiedene Weise erzeugt. Das einemal kommt Licht zum Vorschein beim Erhitzen der Körper; Kreidespitzen leuchten weithin, wenn man sie im brennenden Knallgase zum Glühen bringt; auch das Licht, welches brennende Körper hervorbringen, verdankt seinen Ursprung der Wärme, die durch den Verbrennungsproceß entsteht und jene Körper bis zum Glühen erhitzt. Dann erzeugt das Zusammentreffen der entgegengesetzten Elektricitäten ein starkes Licht; der Blitz bietet hiefür das großartigste Bei-

Digitized by Google

spiel dar. Endlich geht von manchen Körpern unter gewissen Umständen ein schwaches Licht aus, das weder auf ihrem Glühen, noch auf einem chemischen, der Verbrennung ähnlichen Processe, noch auf Elektricität begründet ist; man nennt dieses Leuchten die Phosphorescenz der Körper. Sie wird hervorgerufen durch mäßiges Erwärmen gewisser Substanzen; so fängt Flußspath schon bei 60° C. im Dunkeln zu glänzen an, und zwar in verschiedenen Farben bei verschiedener Temperatur; aber durch Glühen verliert er seine Fähigkeit zu leuchten. Ferner zeigt sich ein Licht beim Krystallisiren mancher Körper; so leuchtet das Gefäß, in welchem schwefelsaures Kali aus einer Auflösung krystallisirt ist. Dann phosphoresciren manche Körper bei verschiedenen Veränderungen ihrer Cohäsion; so ist ein schwaches Leuchten sowohl bei plötzlicher Ausdehnung als bei rascher Compression von Gasarten beobachtet worden; so entwickelt Wasser ein gelbliches Licht, wenn man es schnell und heftig zusammendrückt; so phosphoresciren manche spröde und krystallinische Mineralien, wie Bergkrystall und Feldspath, beim Reiben oder Zerschlagen. Zuletzt muß die Eigenschaft mancher Körper angeführt werden, im Dunkeln zu leuchten, wenn sie vorher einige Zeit lang von der Sonne beschienen werden sind; diese Phosphorescenz durch Aussetzen an die Sonne, durch Insolation kommt beim Flußspath und Kalkspath besonders deutlich vor. Aber alle diese verschiedenen Weisen der Erzeugung des Lichtes lassen sich kaum auf eine allen gemeinsame Ursache, auf einen und denselben Vorgang in den leuchtenden Körpern zurückführen. Am verständlichsten ist es noch, daß dunkle Körper durch Lichtwellen, welche von außen, z. B. von der Sonne kommen, zum Selbstleuchten erregt werden; dieses Phosphoresciren durch Bestrahlung entspricht dem Mittönen, der Resonanz. Auch mechanische Einwirkung, Reiben, Zerschlagen, Druck, können schwaches Leuchten veranlassen; aber die Schwingungen des Lichtes werden auf mechanischem Wege doch bei weitem seltener erzeugt, als die Schwingungen des Schalles. Hier schließt sich zunächst das

Digitized by Google

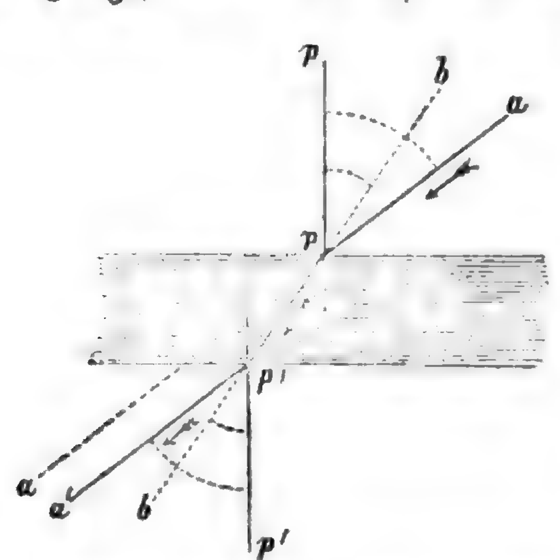
Leuchten krystallisirender Substanzen an; aber das Phosphoresciren durch Erwärmung, das Glühen, das Licht des elektrischen Funkens finden nichts Aehnliches in der Lehre vom Schalle. Schon durch die Entstehungsweise ist der Schall ein begränztes, an das Bestehen einzelner, erschütterungsfähiger Körper gebundenes Phänomen; das Licht ist eine Erscheinung, welche auf die mannigfachste Weise zu Stande kommt, eine Art von Schwingungen, welche nicht blos durch mechanischen Stoß, sondern durch verschiedene andere Kräfte und Bewegungen der Materie erregt wird.

Wir haben jetzt zunächst die Gesetze zu untersuchen, nach welchen das Licht sich in den Körpern fortpflanzt; und es wird in der ganzen folgenden Betrachtung einfacher sein, gewöhnlich nicht von den Lichtwellen, sondern von den Lichtstrahlen, d. h. von den Richtungen zu sprechen, in welchen sich die Wellen weiter verbreiten. Diese Richtung der Fortleitung ist bei den Lichtwellen von größerer Wichtigkeit als bei den Schallwellen; denn jene werden auf viel weitere Strecken mit viel größerer Beständigkeit und Schnelligkeit fortgepflanzt. Wie der Schall, so nimmt auch das Licht mit der Entfernung von seinem Ausgangspunkte an Stärke ab; seine Wellen verlieren nicht an Länge, aber an Höhe, an Schwingungsweite. Die Abnahme verhält sich wie bei der Schwerkraft und wie bei der Stärke des Schalles; sie ist dem Quadrate der Entfernung proportional; bei zweifacher Entfernung wird das Licht viermal schwächer. Diese Verminderung der Lichtstärke läßt sich bei brennenden Kerzen sehr leicht beobachten; sie bringt aber auch beim Sonnenlicht einen Unterschied der Beleuchtung zwischen den näheren und ferneren Planeten hervor.

Während der Schall durch alle Körper nur mit verschiedener Leichtigkeit geleitet wird, setzen sich den Lichtstrahlen größere Hindernisse entgegen; sie pflanzen sich in undurchsichtigen Körpern gar nicht, in halbdurchsichtigen nur unvollkommen und bloß in ganz durchsichtigen Körpern mit voller Stärke fort. Frei-

Digitized by Google

lich gibt es in der Natur weder ganz undurchsichtige, noch ganz durchsichtige Substanzen; denn es läßt sich annehmen, daß alle Körper in sehr feinen Schichten etwas, wenn auch wenig Licht durchlassen, und auf der andern Seite wird das Licht beim Durchgang durch alle Körper etwas geschwächt. Trifft nun ein Lichtstrahl die Oberfläche eines durchsichtigen Gegenstandes, z. B. einer Glasplatte, einer Fensterscheibe, so entsteht zuerst die Frage, ob der Strahl mit unveränderter Richtung durch das Glas durchgeht oder nicht. Es sei a p dieser Lichtstrahl; er gehe durch die Luft und treffe bei p die Glasfläche; so wird seine Richtung bestimmt durch den Winkel, welchen er mit der auf der Glasplatte senkrechten Linie p p einschließt; man könnte sich denken, er werde nun durch das Glas in der Linie a a weiter gehen.



Aber an der Glasoberfläche weicht er so ab, daß er die Richtung b b einschlägt, und diese liegt der senkrechten Linie p p näher. Ein Lichtstrahl also, welcher von Luft in Glas übergeht, ändert seine Richtung auf die Weise ab, daß er sich der senkrechten Richtung annähert; der Einfallswinkel a p p ist hier größer als der Brechungswinkel b p p. Dieselben Verhältnisse treten in der Regel, doch nicht immer da ein, wo der Lichtstrahl aus einem dünneren Medium in ein dichteres übergeht. Der Strahl nähert sich der senkrechten Linie. Und im entgegengesetzten Falle geschieht das Umgekehrte. Wenn der Lichtstrahl auf der anderen Fläche des Glases wieder in die Luft hinaustritt, so entfernt er sich von der senkrechten Linie wieder um ebensoviel, als er sich ihr vorher genähert hatte; statt der Richtung p' b schlägt er den Weg p' a' ein. Der Strahl, welcher aus einem dichteren Medium in ein dünneres übergeht, entfernt sich in der Regel vom Per-

Digitized by Google

pendikel; der Einfallswinkel p' p' b wird hier kleiner als der Brechungswinkel p' p' a'.

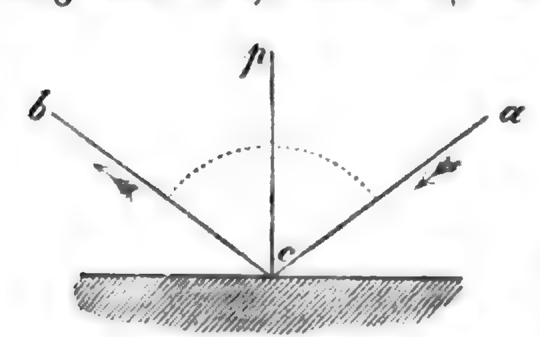
Diese Ablenkung der Strahlen heißt die Brechung des Lichtes; ihr Gesetz lautet im Allgemeinen so: Ein Lichtstrahl, welcher aus dem einen durchsichtigen Medium in ein anderes übergeht, behält seine Richtung nur dann bei, wenn er die Oberfläche des neuen Mediums in senkrechter Richtung trifft; in allen andern Fällen weicht er von seinem Wege ab, indem er sich dem Perpendikel nähert oder sich von ihm entfernt. Oefters trifft hiebei die oben bemerkte Regel ein, daß der Lichtstrahl im dichteren Medium mit kleinerem, im dünneren mit größerem Brechungswinkel weitergeht; aber die Dichtigkeit der Körper scheint doch nur bei den Gasen als sicheres Maaß für die lichtbrechende Kraft dienen zu können; bei den übrigen tropfbarflüssigen und festen Substanzen berechtigt sie nur zu Vermuthungen, und es fehlt uns jeder sichere Anhaltspunkt, um aus andern Eigenschaften der Körper schließen zu können, auf welche Weise sie den Lichtstrahl von seinem vorherigen Wege ablenken werden. Ohne Zweifel steht die lichtbrechende Kraft mit den Cohäsionsverhältnissen der Körper, mit der Verbindung ihrer Massetheilchen in nahem Zusammenhang; und eine Aufklärung dieses Verhältnisses würde über die innere Natur der Körper ebensoviel Klarheit verbreiten, als die genaue Ergründung der Bildung und Fortleitung des Schalles. Für jetzt bleibt als feste Thatsache nur das Eine übrig, daß jeder Körper seine bestimmte brechende Kraft besitzt; seine Eigenthümlichkeit spricht sich deutlich in der Weise aus, wie er auf die Richtung eines Lichtstrahles einwirkt.

Die Gesetze der Lichtbrechung finden ihre ausgedehnte Anwendung in der Betrachtung des Auges. Der Mensch hat in seinem Körper kein Organ, durch welches er Licht auf ähnliche Weise hervorbringen könnte, wie durch seine Athmungsorgane den Ton der Stimme; bei der großen Mehrzahl der Thiere fehlt ein solches lichtbereitendes Organ vollkommen, und die

Digitized by Google

wenigen, welche wie der Leuchtwurm Licht entwickeln, scheinen dieses weniger mit Willkühr als durch einen chemischen, der Verbrennung ähnlichen Proceß an ihrer Körperoberfläche zu erzeugen. Aber zur Aufnahme des Lichtes finden sich die Organe in der Thierreihe ebenso verbreitet als zum Vernehmen des Schalles. Wie das Gehörorgan durch schwingende Medien den äußeren Schall bis zum Gehörnerven leitet, so bringt das Licht bis zum Sehnerven durch die durchsichtigen Medien des Auges; diese folgen ganz den Regeln, welche überhaupt für die Brechung des Lichtes gelten.

Wir haben gesehen, daß kein Körper durchsichtig genug ist, um das Licht ungeschwächt durch sich durchtreten zu lassen. Je nach dem Grade der Durchsichtigkeit geht ein größerer oder kleinerer Theil des Strahles durch den Körper; der andere Theil kehrt an der Oberfläche des neuen Mediums um, er wird reflektirt. Diese Zurückwerfung verhält sich bei den Lichtwellen ähnlich wie bei den Schallwellen; sie geschieht überall, wo der Strahl aus einem Medium in ein anderes übertritt, mag nun das neue Medium dichter oder dünner sein als das alte, mag das Licht aus Luft in Glas oder aus Glas in Luft übergehen. Wie beim Schalle ist der Reflexionswinkel des Strahles immer seinem Einfallswinkel gleich; und diese Regel läßt sich sehr leicht an glatten festen Körpern, an Spiegeln beobachten. Von glatten Metallflächen, zum Beispiel von Platina, wird das Licht mit der möglichst großen Vollkommenheit zurückgeworfen; wenn es von einem hellen Punkte ausgeht, so reflektirt die Metallfläche nur das Lichtbild dieses Punktes und bleibt in ihrer übrigen Ausdehnung völlig dunkel. Aber selbst bei Metallen wird nie eine absolute Gleichmäßigkeit der Oberfläche und ebendamit nie eine völlige Reinheit der Reflexion erreicht; außer dem Punkte, welcher das Licht nach der Regel



Digitized by Google

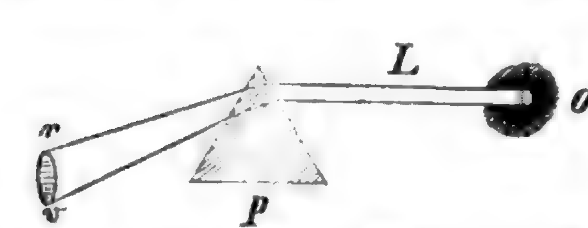
zurückwirft, wird es auch von andern Punkten auf unregelmäßige Weise reflektirt; und diese Unregelmäßigkeit nimmt zu, jemehr die Oberfläche uneben, von feinen Erhabenheiten und Vertiefungen unterbrochen ist. Ein Körper, welcher auf solche Art die empfangenen Lichtstrahlen zerstreut zurückwirft, zeigt durchaus eine helle, mäßig glänzende Oberfläche. Je mehr Strahlen von ihm reflektirt werden, desto glänzender weiß erscheint er; mit der Abnahme der reflektirten Strahlen geht seine Farbe in lichteres, dann in tieferes Grau über, und ein Körper, welcher gar kein Licht mehr zurückgäbe, würde sich unserm Auge als absolut schwarz darstellen. Die regelmäßige Reflexion begründet also den starken Glanz unserer Spiegel, der Oberflächen von Wasser oder Quecksilber; und aus der Zurückwerfung zerstreuter Lichtstrahlen geht die Farbenreihe vom glänzendsten Weiß durch die Stufen des Grau bis zum tiefsten Schwarz hervor. Beide Arten der Reflexion wiederholen sich überall in den Reichen der Natur. Die Strahlen, welche wir in unsern Nächten von Mond und Planeten erhalten, sind nichts als reflektirtes Sonnenlicht. Die Helle des Luftkreises am Tage rührt von den zerstreuten Strahlen der Sonne her. Aber auch Steine, Thiere und Pflanzen ziehen das Auge an, wenn ihre Oberfläche stark glänzt; und ihr helleres oder dunkleres Ansehen trägt wesentlich zu jener Vertheilung des Lichtes bei, welche den Charakter der einzelnen Gegenden oder Klimate der Erde ausmacht.

Diese Betrachtung führt uns zu denjenigen Farben zurück, welche nicht von der Menge des reflektirten Lichtes, sondern von der Länge und Schwingungszahl der Lichtwellen abhängen; diese Farben sind Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett; sie unterscheiden sich von einander auf andere Art, als Weiß, Grau und Schwarz. Verhalten sie sich nun wechselseitig gerade so, wie die Töne von verschiedener Schwingungszahl, von verschiedener Höhe oder Tiefe? Für jeden einzelnen Ton lassen sich mehrere andere finden, welche mit ihm passend

Digitized by Google

zusammenklingen; dahin gehören zunächst die Oktaven, dann die Terzen und Quinten; ihre Schwingungszahlen stehen immer in einem einfachen Verhältnisse zur Schwingungszahl des Grundtones. Aber auf diese Verbindung zu harmonischen Accorden beschränkt sich die Uebereinstimmung der einzelnen Töne; ihre Anzahl, ihre Gränzen nach oben und unten sind unbestimmt; wenn alle zusammenklängen, so würde aus ihnen ein einziger ungeheurer Mißton entstehen. Aber im Reiche des Lichtes ist es anders. Roth und Violett bilden hier die zwei äußersten Endpunkte, jenes mit der geringsten, dieses mit der höchsten Schwingungszahl. Einzelne Farben passen zwar besonders gut zusammen; aber im Ganzen kann doch jede Farbe neben der andern auftreten, ohne das Auge zu beleidigen, und die Gesammtheit der Farben vereinigt sich nicht zu einer Mißfarbe, sondern zu dem weißen Lichte, welches die Strahlen der Sonne unserer Erde zuführen. Dieses weiße Licht ist für uns die Einheit, aus welcher alle Mannigfaltigkeit der Farben hervorgeht.

Wenn man die einzelnen Farben unter einander in Bezug auf ihre Brechbarkeit vergleicht, so findet man, daß ihre Strahlen um so stärker von ihrem Wege abgelenkt werden, je kürzer ihre Lichtwellen, je größer ihre Schwingungszahlen sind. Violett wird am stärksten gebrochen, Roth am wenigsten, und zwischen beiden Extremen folgen Blau, Grün, Gelb, Orange in der gewöhnlichen Ordnung aufeinander. Diese Verschiedenheit bietet eine günstige Gelegenheit dar, um das weiße Licht durch brechende Körper in die Farben zu zerlegen, welche in ihm enthalten sind. Man benützt hiezu das dreiseitige Prisma. Es falle z. B. durch die kreisrunde Oeffnung O ein weißer Lichtstrahl L in ein dunkles Zimmer herein, und er treffe auf seinem Wege das gläserne Prisma P, so werden alle seine Theile bei ihrem Eintritte so gebrochen, daß sie sich dem Perpendikel nähern, und bei ihrem Austritt nehmen sie wieder eine andere



Digitized by Google

Richtung an, indem sie sich vom Perpendikel entfernen. Aber nicht alle Theile werden mit der gleichen Kraft gebrochen, und so kommt es, daß an der gegenüberliegenden Wand das Lichtbild der Oeffnung nicht kreisrund, sondern länglich erscheint; an dem Endpunkte r liegen die wenigst gebrochenen, am Endpunkte v die am meisten gebrochenen Strahlen. Hier treten nun die sogenannten prismatischen Farben in der Ordnung ihrer Brechbarkeit auseinander; von r nach v folgen sich in dem ovalen Bilde Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Es kann kein Zweifel sein, daß das weiße Sonnenlicht mit Hilfe des Prisma's in sieben Grundfarben zerlegt worden ist; und es gelingt auch, aus den letztern wieder weißes Licht herzustellen. Man denke sich in O statt einer Oeffnung, durch welche Licht eindringt, das menschliche Auge; dieses betrachte durch das Prisma P das Lichtbild r v; so gehen die Strahlen, welche das Prisma vorher zerlegt hatte, jetzt durch ebendasselbe zum Auge zurück und werden vom Prisma in umgekehrter Weise so gebrochen, daß sie sich wieder zu dem Lichtstrahle L vereinigen, welcher auf das Auge den Eindruck des weißen Lichtes hervorbringt.

Das weiße Licht ist demnach aus den sieben Hauptfarben auf ähnliche Weise zusammengesetzt, wie ein Accord aus Prim, Terz, Quint und Oktav. Die Schwingungen des Schalles erregen im Ohre den Eindruck von Harmonie; im Auge vereinigen sich die Schwingungen aller Grundfarben zum Eindrucke des Einen weißen Lichtes. Aber in der Natur und insbesondere an unserer Erdoberfläche ist das weiße Licht der Ursprung, aus welchem alle Farben hervorgehen. Wir haben beschrieben, wie das Sonnenlicht vom Prisma in die Farben des Sonnenspektrums zerlegt wird. Dasselbe geschieht um uns her überall ohne optische Apparate, am vollkommensten im Regenbogen, dann in den feurig gefärbten Wolken, in der blauen Luft, im blaugrünen Wasser, überhaupt in den unzähligen Farben, welche den einzelnen Geschöpfen eigenthümlich sind. Ueberallhin sendet

Digitized by Google

die Sonne ihre weißen Strahlen; aber nicht alle Körper lassen sie unverändert durch oder werfen sie unverändert zurück; sondern sowohl bei der Brechung als bei der Reflexion wird das Licht sehr häufig zerlegt, und daraus entstehen die natürlichen Farben der Körper. Selten kommen bei dieser Zerlegung alle Farben, wie im Regenbogen, zugleich zum Vorschein; sondern wie graue oder schwarze Körper nur einen Theil der weißen Lichtstrahlen zurückwerfen und die andern einsaugen, so wird von den gefärbten Körpern nur ein Theil der farbigen Strahlen, welche im weißen Lichte enthalten sind, reflektirt und der andere eingesaugt. Rothe Körper werfen nur die rothen, blaue nur die blauen Strahlen zurück; durchsichtige grüne Körper lassen nur die grünen Strahlen durch ihre Substanz durchgehen. Diese verschiedenartige Zerlegung des weißen Lichtes muß durch irgend eine Eigenthümlichkeit im Bau der einzelnen Körper, in der Verbindung ihrer Theilchen vermittelt werden; aber bis jetzt ist es nicht gelungen, den Zusammenhang der Farbe mit der übrigen Natur der Körper nachzuweisen.

Weder im Sonnenspektrum noch irgendwo in der Natur gibt es andere Farben außer den sieben, Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Keine von diesen Grundfarben läßt sich durch das Prisma weiter zerlegen, und wir betrachten sie daher mit Recht als einfach. Aus ihrer Vermischung entstehen alle die Farben, durch welche sich einzelne Körper auszeichnen. Wenn nun ein Körper, welcher von weißem Sonnenlichte beschienen wird, z. B. eine rothe Farbe hat, so saugt er alle die farbigen Strahlen ein, welche das Roth zum weißen Licht ergänzen, nämlich Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett; und diese werden zusammen Grün ausmachen. Umgekehrt saugt der grüne Körper alle rothen Strahlen ein, der blaue die orangen, der gelbe die violetten Strahlen. Im Allgemeinen saugt jeder einzelne Körper die Ergänzung seiner eigenen Farbe zum weißen Lichte ein; und es ist jetzt klar, was man unter complementären oder Ergänzungsfarben zu ver-

Digitized by Google

stehen hat; sie bezeichnen die Strahlen, welche im farbigen Lichteindrucke zu dem vollen Accorde des weißen Lichtes fehlen.

Endlich haben wir darauf aufmerksam zu machen, daß in der Natur die farbigen Strahlen so wenig als die weißen je in ihrer vollständigen Stärke von den Körpern reflektirt oder durchgelassen werden. Es gibt keine absolut weißen Körper, aber auch keine von reinem Roth, reinem Gelb oder Blau; überall wird ein Theil des farbigen Strahles eingesaugt, und es mischt sich den Farben etwas Dunkles bei. Daher gelingt es auch nicht, durch Vermischung der Farben ein reines Weiß zu erhalten; das Dunkle, was den einzelnen Farben anhängt, läßt bei ihrer Mischung statt des weißen Lichtes ein mehr oder weniger tiefes Grau hervortreten. So giebt kein irdischer Körper die volle Klarheit des Sonnenlichtes wieder; in allen wird das zerlegte Licht so gut wie das unzerlegte je nach der Natur der Substanzen mehr oder weniger verdunkelt; die Dunkelheit ist nicht durch das Licht selbst, sondern durch das Widerstreben der Körper gegen Lichtschwingungen in die Schöpfung, welche uns umgibt, hereingekommen.

Nicht überall, wo Licht entsteht, verhält es sich als weißes Licht. So ist das Licht unserer Kerzen und Lampen gelb, und es wird besonders stark gelb, wenn man auf den Docht der Flamme Kochsalz streut; Strontian färbt die Flamme roth, Baryt grün, Kalisalze färben sie violett; aber glühende Kreide gibt ein völlig weißes Licht. Indeß kommt alles Licht, das auf der Erdoberfläche erzeugt wird, gar nicht in Betracht gegen die ungeheure Lichtmasse, welche von der Sonne auf alle Planeten ununterbrochen ausströmt. Dieses Sonnenlicht ist es, was den Gegensatz von Weiß und Schwarz, was alle Farben des Prisma's an den Körpern vorzüglich hervorbringt und kennen lehrt, was uns einen weiten Blick über die Erdoberfläche und alle auf ihr lebenden Geschöpfe gestattet. Wenn daher auch jeder Körper unter gewissen Umständen leuchten kann, so erkennen wir doch als die bei weitem überwiegende Quelle des Lichtes einen an-

dern Weltkörper an. Dadurch wird das Licht zu einer umfassenden Erscheinung, welche nicht, wie der Schall, in jedem einzelnen Körper entsteht und mit Langsamkeit sich auf geringe Entfernungen fortpflanzt; sondern vom Mittelpunkte, von der Sonne aus ergießt es sich über alle Körper des Planetensystems, und aus dem übrigen Weltraume leuchten die Fixsterne als andere Sonnen mit dem gleichen, nur durch die Entfernung schwächeren Lichte zu uns herüber. Bleiben wir für jetzt nur bei unserem Sonnensysteme stehen, so ist klar, daß es sein Licht von demselben Körper bekommt, um welchen es sich bewegt; der Centralkörper, die Sonne, zieht alle Planeten mit der Kraft der Schwere an sich und erregt zugleich die Lichtwellen, welche nach allen Seiten sich ausbreiten und die dunklen Planeten beleuchten. Jeder einzelne Körper vermag also für sich unter gewissen Umständen ebensowohl zu leuchten als zu tönen; aber dieses Licht erlischt, wie der Schall verklingt, und eine dauernde Beleuchtung erhält unsere Erde nur von der Sonne, an welche sie zugleich durch mechanische Gesetze gefesselt wird.

Mit dieser allgemeineren Natur des Lichtes hängt es gewiß zusammen, daß die selbstleuchtenden Körper in dem Lichte, welches sie entwickeln, keine solche Eigenthümlichkeit zeigen, wie sie vom Klange der Körper früher geschildert wurde. Es mag Licht ausgehen von der Sonne oder von Fixsternen oder von brennenden Körpern an der Erdoberfläche, immer wird es sich nur durch seine Stärke und durch seine Farbe auszeichnen; aber jener unerklärliche Unterschied, welcher bei derselben Tonhöhe und Tonstärke den Klang der Flöte zu einem ganz andern macht, als den Klang der Geige, wiederholt sich beim Leuchten der Körper nicht. Hier läßt sich alles auf mathematische Gesetze, auf Maaß und Größe, auf Länge und Weite der Lichtschwingungen zurückführen. Wie nun das Ohr alle Feinheiten des Schalles vernimmt, so ist das Auge im Stande, sowohl die Grade der Lichtstärke als die feinsten Abstufungen der pris-

Digitized by Google

matischen Farben deutlich zu unterscheiden. Und hier erhält das Licht für den Menschen eine weitere Bedeutung, indem es ihm durch die Gegensätze von Hell und Dunkel, durch die verschiedenen Farbenverhältnisse in die Ordnung der Natur einen neuen, tieferen Blick gewährt. Wir haben bei den allgemeinen Bewegungsgesetzen der Körper erwähnt, daß unsere Tastorgane uns über äußeren Widerstand oder Stoß die nächste Auskunft geben; wir erfahren durch das Betasten der Gegenstände ihre äußere Form, ihre augenblickliche Lage, ihre Ruhe oder Bewegung. Aber alles dieses werden wir nur bei unmittelbarer Berührung inne, das Tasten führt über die allernächste Umgebung des Menschen nicht hinaus. Erst das Auge unterscheidet die Form der Dinge in der Nähe und Ferne, und das Licht ist es, was ihm aus der nächsten Umgebung so gut als aus den unendlichen Räumen des Himmels die Bilder der Dinge zuführt.

Die Klänge der Körper drücken die Eigenthümlichkeit jedes einzelnen aus; sie bewegen die Seele bald als verwandt, bald als feindselig. Aber das Licht der Sonne erquickt den Menschen überall, wo es an der Erdoberfläche sich zeigt; es tritt ihm nicht als ein Einzelnes, bald freundliches bald feindseliges gegenüber; sondern er empfindet es als den Ausfluß des Gestirnes, um das unsere Erde sich als Planet bewegt, und welches über alle ihm untergeordneten Sterne den Segen seiner Strahlen verbreitet; wir fühlen, daß hier nicht ein irdisches Mitgeschöpf, sondern ein Geschaffenes von weit umfassenderer Kraft und Wirkung uns Körper und Seele bewegt. Die Pracht der Farben in der Luft und auf der Erde, die Gestalten der Gebirge, der Pflanzen und Thiere, die mannigfachen Bewegungen der Gewässer, der Wolken und der beseelten Geschöpfe werden nur durch das Licht der Sonne unserem äußeren und inneren Sinne erkennbar. Und wenn die Strahlen der Sonne aus unseren Gegenden gewichen sind, so eröffnet das verwandte oder erborgte Licht der Sterne den Himmelsraum mit dem unendlichen Reichthum seiner Gestalten, und die Seele betrachtet zwar

6*

Digitized by Google

stiller und ernster, aber mit nicht geringerer Erhebung die unerschöpfte Fülle des Lichtes, welches die kleinsten wie die weitesten Räume gleichmäßig durchdringt. Schrecken erfaßt uns nur da, wo aus dunkeln irdischen Körpern plötzlich ein starkes, unerwartetes Licht hervorleuchtet, so in den Ausbrüchen der Vulkane, in dem Blitze der Gewitter, in den Bränden, welche Wälder oder menschliche Wohnungen weithin zerstören; hier fühlen wir den plötzlichen Eingriff in die gewöhnliche, ruhige Ordnung der Dinge. Aber das Licht der Sonne und der Gestirne erfreut und beruhigt uns als eine bekannte und wohlthuende Erscheinung.

6) **Wärme**. Licht und Schall, von welchen in den letzten Abschnitten die Rede war, sind zwar durch die Wellenbewegung, welche beiden zu Grunde liegt, mit einander verwandt; aber sie stehen wechselseitig in keinem ursächlichen Zusammenhang; keines von beiden ist im Stande, das andere hervorzurufen. Ebenso stehen sie mit den Cohäsionsgraden und mit der Dichtigkeit der Körper in mehrfacher Beziehung; aber sie wirken auf dieselben nicht verändernd ein. In allen diesen Rücksichten verhält sich die Wärme anders; sie erregt unter gewissen Umständen Licht und Schall; sie verändert den innern Zusammenhang und die Dichtigkeit der Körper.

Wir drücken die atmosphärische Luft zusammen, wenn wir in eine solide, unten geschlossene Metall- oder Glasröhre das untere Ende eines fest anschließenden Kolbens hineintreiben. Geschieht dieß rasch und mit gehöriger Gewalt, so entwickelt sich aus der zusammengedrückten Luftsäule eine deutliche Menge von Wärme, und es gelingt durch eine kräftige Zusammendrückung, den Zündschwamm, welcher unten am Kolben befestigt ist, zum Brennen zu bringen. Was hier der äußere Druck durch Verdichtung der Luft bewirkt, das geschieht mit andern Mitteln, aber mit demselben Erfolge durch die An-

Digitized by Google

ziehung, welche feste und insbesondere poröse Körper auf Gase ausüben. Wir haben früher gezeigt, daß Holzkohle mit besonderer Kraft Gase in ihrem Innern verdichtet, daß sie z. B. von kohlensaurem Gase das Zwanzigfache ihres eigenen Rauminhaltes in ihre Poren aufnimmt. Nun ist in Pulverfabriken wiederholt die Beobachtung gemacht worden, daß die fein zerriebene Kohle, welche zur Bereitung des Schießpulvers dient, ohne alle äußere Veranlassung sich von selbst entzündete; und es ergab sich aus weiteren Untersuchungen, daß die einsaugende Kraft der Kohle die Ursache dieser Erscheinung sei. Wenn nämlich sehr fein zerriebene Kohle in größern Haufen aufgeschüttet ist, so verdichtet sie in ihrem Innern atmosphärische Luft; sie erhitzt sich hiebei allmählig bis zu 175° C., und jetzt beginnt die Entzündung in geringer Tiefe unter der Oberfläche. Auf der andern Seite erwähnten wir, daß Platina schon als Blech die Gase mit bedeutender Kraft verdichte; dieses geschieht aber noch vielmehr durch sehr fein vertheilte Platina, durch sogenannten Platinaschwamm, welcher sich durch seine vielen und engen Zwischenräume den porösen Körpern ähnlich verhält. Läßt man auf solchen Platinaschwamm Wasserstoffgas strömen, so wird dieses leichte Gas, welches in die Zusammensetzung des Wassers eingeht und daher aus Wasser gewonnen wird, mehr als irgend eine andere Luftart verdichtet; 1 Kubikzoll Platinaschwamm condensirt 728 Kubikzoll Wasserstoffgas. Bei dieser Verdichtung wird so viel Wärme entwickelt, daß der Platinaschwamm selbst ins Glühen kommt und das durchströmende, leicht brennende Wasserstoffgas entzündet. Aus diesen Beispielen geht klar hervor, daß sich immer Wärme entbindet, wenn Gase verdichtet, d. h. bei gleichbleibendem absolutem Gewicht auf einen geringeren Raum zurückgeführt werden. Da mit der Verdichtung die Cohäsion der Gase erhöht wird, so gilt ebenso der Satz, daß Gase Wärme entwickeln, wenn sich ihre Cohäsion steigert.

Es läßt sich schon zum voraus vermuthen, daß bei Ver-

Digitized by Google

minderung der Cohäsion, bei rascher Ausdehnung der Gase Kälte erzeugt werden wird. Und diese Vermuthung wird auch in der That durch das Experiment bestätigt. Das Thermometer fällt unter der Glocke der Luftpumpe bis zu einer bedeutenden Tiefe, wenn die Luft durch rasche Umdrehungen schnell verdünnt wird. Cohäsionsvermehrung bringt also bei den Gasen Wärme, Cohäsionsverminderung Kälte hervor.

Was hier von den Gasen bewiesen wurde, das gilt im Allgemeinen von allen, den festen, tropfbarflüssigen und gasförmigen Körpern. Wir erwähnen zuerst die Wärme, welche dadurch entsteht, daß feste Körper an einander gerieben werden. Wilde Völker der verschiedensten Weltgegenden, Brasilianer, Neuholländer, Araber, bereiten sich Feuer, indem sie zwei Holzstäbchen so lange an einander reiben, bis Verkohlung und dann Entzündung eintritt. Die Achsen schwer bepackter Wagen gerathen in Brand durch ihre Reibung am Rade. Durch schnelles und starkes Hämmern soll die Spitze eines Nagels so erhitzt werden, daß sie im Stande ist, Schwefel zu entzünden. In allen diesen Beispielen wirkt offenbar der Druck, welcher zu oft wiederholten Malen auf feste Körper ausgeübt wird; das Reiben erhitzt um so mehr, je fester man die Körper gegen einander drückt. Auch bei den festen Körpern wird also durch eine rasche und öfter wiederholte Cohäsionsvermehrung Wärme erzeugt. Dieselbe Erscheinung kann bei tropfbaren Flüssigkeiten wegen ihrer höchst geringen Zusammendrückbarkeit nicht hervorgerufen werden.

Wir haben aber bis jetzt immer nur die Verminderung und Vermehrung der Dichtigkeit im Gebiete eines einzelnen der drei Cohäsionszustände ins Auge gefaßt. Es läßt sich annehmen, daß die Erzeugung von Wärme und Kälte noch viel bedeutender sein werde, wenn die Körper aus einem Cohäsionszustande in den andern, und zwar bald in einen cohärenteren, bald in einen weniger cohärenten übergeführt werden. Hier gilt allerdings die Regel, daß Wärme erzeugt wird, wenn ein

Digitized by Google

Körper aus dem gasförmigen in den tropfbarflüssigen und aus diesem in den festen Zustand übergeht, daß dagegen durch eine Umwandlung in umgekehrter Ordnung Kälte hervorgebracht wird. Wir führen zum Beweise für diesen Satz einige Beispiele an. Der Schwefeläther ist eine bekannte, stark riechende Flüssigkeit, welche sehr leicht bei gewöhnlicher Temperatur verdampft, d. h. in Gasform übergeht. Legt man nun um die Kugel eines Thermometers Baumwolle, welche mit Aether befeuchtet ist, so wird durch die Verdunstung des Aethers Kälte entstehen und das Thermometer fallen. Die Ueberführung von festen Körpern in den tropfbarflüssigen Zustand bewirken wir dadurch, daß wir jene in tropfbaren Flüssigkeiten auflösen. Bringt man z. B. Kochsalz in Wasser, so löst es sich auf, und die Temperatur des Wassers sinkt um mehrere Grade. Eine viel bedeutendere Kälte wird durch die sogenannten Kältemischungen hervorgebracht, durch Vermischung von Wasser mit Salmiak und Salpeter, durch Auflösung von Glaubersalz in Schwefelsäure. Setzt man ein Gefäß mit Wasser in solche Mischungen, so gelingt es leicht, das Wasser zum Gefrieren zu bringen. In umgekehrter Weise entwickelt eine tropfbare Flüssigkeit bei ihrem Erstarren Wärme. Das unterschwefligsaure Natron, ein Salz, welches beim Daguerreotypiren angewendet wird, schmilzt leicht schon bei 56° C., und es bleibt im flüssigen Zustande, wenn man es langsam und ohne Erschütterung sich abkühlen läßt. Taucht man dann die Kugel eines Thermometers in die flüssige Masse, so erstarrt diese in Folge der Berührung rasch, und das Thermometer zeigt eine Vermehrung der Temperatur um 20° und darüber an.

Wenn wir bisher sagten, bei der Verflüssigung und bei der Verdampfung der Körper werde Kälte erzeugt, so läßt sich dieses mit andern Worten auch so ausdrücken: die Körper entziehen ihrer Umgebung Wärme, wenn sie aus dem festen in den tropfbarflüssigen, aus diesem in den gasförmigen Zustand übergehen. Und im Allgemeinen sagen wir: Körper, welche ihre

Digitized by Google

Cohäsion erhöhen, geben Wärme ab; Körper, welche ihre Cohäsion vermindern, ziehen aus der Umgebung Wärme an.

Es erklärt sich aus diesen Betrachtungen aufs einfachste, warum die Cohäsionsverminderung der Körper durch äußere Wärmezufuhr, ihre Cohäsionsvermehrung durch Wärmeentziehung, durch äußere Kälte befördert oder hervorgerufen wird. Wir geben dem Eisen, dem Kupfer, dem Silber in unsern Oefen durch äußere Hitze die Wärme, welche sie zu ihrer Verflüssigung, zum Schmelzen bedürfen; wir bringen das Wasser durch äußere Hitze zum Sieden und Verdampfen. Auf der andern Seite geht das Wasser, welches als Gas in der Atmosphäre enthalten ist, in tropfbarflüssige Form, in Regen über, wenn ein kalter Luftstrom die wasserhaltigen Luftschichten trifft und ihnen Wärme entzieht; ferner weiß jedermann, daß bei weiterer Erkaltung der Atmosphäre ihre wäßrigen Dünste fest werden und unter der Form des Schnees auf die Erde herabfallen.

Auf entsprechende Weise wirkt die Wärme auch im Gebiete jedes einzelnen Cohäsionszustandes. Feste Körper dehnen sich durch Wärme aus und verlieren dabei natürlich an Dichtigkeit und innerem Zusammenhang. Die metallenen Pendel, welche bei Uhren benützt werden, verlängern sich in der warmen Jahreszeit und machen daher in der Minute eine geringere Zahl von Schwingungen, als während des Winters; ebenso wurde beobachtet, daß hohe Thürme durch die Sonnenhitze eine einseitige Beugung bekamen. Dasselbe Gesetz gilt auch von den tropfbaren Flüssigkeiten. Das Quecksilber insbesondre folgt der Zu- und Abnahme der Wärme gleichmäßig durch Ausdehnung und Zusammenziehung, und man benützt es daher in unsern Thermometern, um je nach seinem Stande die Temperatur der umgebenden Körper zu bestimmen. Der Nullpunkt des Thermometers wird gewöhnlich an denjenigen Ort gesetzt, wo das Quecksilber in schmelzendem Eise oder in gefrierendem Wasser zu stehen kommt; von hier aus wird die Zu- und Abnahme der Temperatur durch Steigen und Fallen

Digitized by Google

bezeichnet; bis zum oberen Ende des Thermometers steigt das Quecksilber, wenn man das Instrument in siedendes Wasser taucht; zwischen Gefrierpunkt und Siedpunkt wird der Raum bald in 80, bald in 100 Grade eingetheilt; wir folgen hier der letzteren, der Celsius'schen Skala.

Das Wasser allein macht von den Gesetzen der Ausdehnung eine bis jetzt noch unerklärte Ausnahme. Wenn man Wasser, welches eine Temperatur von etwa 10° hat, abkühlt, so zieht es sich zusammen; seine Dichtigkeit nimmt zu, aber nicht, wie bei den übrigen Flüssigkeiten, bis zum Nullpunkte, d. h. bis zum Punkte des Erstarrens; sondern bei 4° über Null erreicht das Wasser seine größte Dichtigkeit, und unter diesem Punkte dehnt es sich mit Abnahme der Temperatur aus; es erreicht am Gefrierpunkte wieder dieselbe Ausdehnung, welche es bei 9° Temperatur gehabt hatte. Diese Eigenthümlichkeit widerspricht zwar allen übrigen Thatsachen der Physik; aber die spätere Untersuchung wird zeigen, daß sie für die Oekonomie der Natur von größter Wichtigkeit ist; wenn das Wasser bis zum Gefrierpunkte an Dichtigkeit zunehmen würde, so müßte in allen kälteren Gegenden das Leben aller Wasserthiere unmöglich werden.

Endlich haben wir die Ausdehnung der Gase durch Wärme anzuführen. Diese Wirkung ist bei allen Gasen viel gleichförmiger, als bei den festen und tropfbarflüssigen Körpern; während diese bei gleicher Temperatur in verschiedenem Maaße sich ausdehnen, weicht man nur wenig von der Wahrheit ab, wenn man behauptet, daß alle Luftarten durch dieselbe Temperatur in gleichem Verhältnisse ausgedehnt werden, und daß ihre Ausdehnung gerade im Verhältniß der Temperaturerhöhung zunimmt, daß also z. B. alle Gase durch Verdoppelung der Temperatur auf den doppelten Raum sich ausdehnen.

Wenn nun ein Körper durch Erhöhung der äußern Temperatur aus dem festen Zustande in den tropfbarflüssigen oder aus diesem in den gasförmigen übergeht, so fragt es sich: wird

Digitized by Google

der geschmolzene oder wird der verdunstete Körper am Thermometer die Temperatur anzeigen, welche zu seiner Schmelzung oder Verdunstung nothwendig war? Gußeisen bedarf 1915° C. zum Schmelzen; wird es nach dem Schmelzen diese Temperatur haben? Quecksilber siedet bei 340° C.; wird sein Dampf auch diesen hohen Wärmegrad bekommen? Diese Fragen sind durch die Beobachtung genügend beantwortet. Wenn man ein gewisses Gewicht, z. B. ein Kilogramm (zwei Pfunde) Eis durch das gleiche Gewicht Wasser schmelzen will, so bedarf das letztere zu diesem Zwecke natürlich eine höhere Temperatur. Nimmt man nun Wasser von 79° C., so gibt das geschmolzene Eis mit dem gleichen Gewichte Wasser nicht etwa eine Mischung von 79°; sondern durch die Schmelzung geht Wärme verloren, und zwar reichen die 79° gerade nur hin, um die Schmelzung zu Stande zu bringen; ein Kilogramm Wasser von 79° mit einem Kilogramm Eis oder Schnee von 0° geben geradezu zwei Kilogramme Wasser von 0°. Die Wärme des zugesetzten Wassers hat sich während des Schmelzens ganz verloren; sie hat aufgehört, sich fernerhin zu äußern; sie ist, wie man sich ausdrückt, gebunden, latent geworden. Wie das Eis, so verzehren oder binden auch die übrigen festen Körper eine gewisse Wärmemenge, wenn man sie durch höhere Temperatur zu schmelzen versucht; aber jeder Körper verhält sich hier vom andern verschieden. Vergleicht man z. B. den Schwefel mit dem Eis, so würde ein Kilogramm von jenem unter denselben Umständen nicht 79°, sondern 80° C. binden; ebenso würde ein Kilogramm Zink nicht 79°, sondern 274° zum Schmelzen bedürfen. Man sagt daher, jeder Körper habe seine eigene latente Wärme, und es wäre hienach die des tropfbarflüssigen Wassers = 79, die des flüssigen Schwefels = 80, die des flüssigen Zinks = 274. Ebenso wird Wärme gebunden, wenn tropfbarflüssige Körper gasförmig werden; die latente Wärme des Wasserdampfes ist = 550, die des gasförmigen Alkohols = 210. Diese Bindung der Wärme ist es eben,

Digitized by Google

was bei der Verdunstung des Aethers, bei der Auflösung fester Körper in Flüssigkeiten die bedeutenden Kältegrade hervorbringt; die Wärme, welche zur Verminderung der Cohäsion nöthig ist und welche den umgebenden Körpern entzogen wird, hört auf, in dem verflüssigten oder verdunsteten Körper sich zu äußern, und dieser macht daher auf die Hand, wie auf das Thermometer den Eindruck von Kälte. Man nennt aber die verbrauchte Wärme darum nur gebunden, latent oder verborgen, weil es den Anschein hat, als käme sie wieder zum Vorschein, wenn Körper beim Uebergang aus einem niederern Cohäsionsgrad in einen höhern Wärme von sich geben, wenn z. B. das erstarrende unterschwefligsaure Natron das Thermometer um mehr als 20° in die Höhe treibt.

Wir nehmen also an, daß ein Körper, welcher aus dem festen Cohäsionszustande in den tropfbarflüssigen und aus diesem in den gasförmigen übergeht, hiebei eine gewisse Menge Wärme binde, und daß die gebundene Wärmemenge bei jedem einzelnen Körper wieder eine ihm eigenthümliche sei. Denken wir uns aber, daß Eis oder Schnee durch äußere Wärme verflüssigt seien, und daß diese Wärme auch nach der vollständigen Schmelzung noch einwirke, so fährt natürlich das geschmolzene Eis fort, noch weitere Wärme aufzunehmen, und da diese nicht mehr zur Veränderung des Cohäsionszustandes verbraucht wird, so erwärmt sich jetzt das neugebildete tropfbarflüssige Wasser mit Erhöhung der äußern Temperatur immer mehr. Dasselbe wird mit geschmolzenem Schwefel, mit geschmolzenen Wachse bei fortdauernder Wärmezufuhr geschehen. Die Erhöhung der Temperatur ist durch das Thermometer leicht zu erkennen.

Werden nun Wasser, flüssiger Schwefel, flüssiges Wachs bei gleicher äußerer Wärmezufuhr sich in gleichem Grade erwärmen? werden alle drei, wenn z. B. die äußere Wärme um 20° steigt, am Thermometer die gleiche Temperaturerhöhung ihrer eigenen Substanz zu erkennen geben? Auch in dieser Beziehung verhalten sich die Körper verschieden; wie jeder feste

Digitized by Google

Körper eine eigenthümliche Wärmemenge bedarf, um verflüssigt zu werden, so hat jeder wieder ein anderes Maaß von Wärmezufuhr nöthig, um das Thermometer z. B. um 10° C. zu heben. Man sagt, ein Körper nehme ein größeres oder kleineres Quantum Wärme in sich auf als ein anderer, und erwärme sich durch diese Aufnahme doch auf denselben Grad, verändre den Stand des Thermometers ebenso wie dieser; jeder Körper habe seine besondere Wärmecapacität, seine eigenthümliche, specifische Wärme. Man findet die Wärmecapacität, wenn man Körper von verschiedener Temperatur mit einander mengt. Vermischt man z. B. warmes Wasser mit dem gleichen Gewichte kalten Wassers, so erhält das Ganze eine mittlere Temperatur; ein Pfund Wasser von 10° mit einem andern von 20° gemischt gibt zwei Pfunde von $\frac{20 + 10}{2}$ oder 15°. Aber ein andres ist es, wenn gleiche Gewichte verschiedener Körper mit einander gemengt werden. Bringt man z. B. ein Pfund Wasser von 7° mit einem Pfund Quecksilber von 100° zusammen, so erhält die Mischung nicht eine Temperatur von $\frac{100+7}{2}$ oder 53½°; sondern ihre Temperatur wird nur = 10°. Offenbar gibt hiebei das Quecksilber von seiner Wärme 90° her; aber statt daß diese das Wasser um 90° wärmer machen würden, erhöhen sie seine Temperatur blos von 7° auf 10°, d. h. um 3°. Ein Wärmequantum also, welches Quecksilber auf 90° erwärmt, steigert die Temperatur des Wassers blos um drei Grade; und um dieses bis zu 90° zu erhitzen, wäre 30mal so viel Wärme nöthig, als beim Quecksilber. Man nimmt daher an, bei gleichem Thermometerstande enthalte Wasser 30mal so viel Wärme als Quecksilber; das erstere habe eine 30mal größere Wärmecapacität als das letztere. Auf der andern Seite hält aber auch Wasser seine Wärme viel länger fest als Quecksilber; wenn beide sich auf gleicher Temperatur befinden, so erkaltet jenes 30mal langsamer, als dieses. Man

Digitized by Google

benützt daher auch die Erkaltung der Körper, um ihre Wärmecapacität zu bestimmen; die Erkaltungszeit verhält sich der Wärmecapacität proportional. Diese Worte mögen genügen um deutlich zu machen, was man unter der Wärmecapacität der Körper zu verstehen hat. Wie das Quecksilber sich vom Wasser unterscheidet, so weichen feste Körper von festen, Flüssigkeiten von Flüssigkeiten, Gase von Gasen mannigfaltig in Bezug auf ihre specifische Wärme ab. Diese ist auch bei einem und demselben Körper nicht unter allen Umständen gleich; sondern sie wächst im Allgemeinen mit der Zunahme der Temperatur, und sie vermindert sich bei den Gasen mit der Zunahme des äußeren Druckes, doch nicht in gleichem Verhältnisse.

In den Abstufungen der latenten und der specifischen Wärme drückt sich die Eigenthümlichkeit der einzelnen Körper sehr entschieden aus. Aber wir sind so wenig im Stande, den Grund für die eigenthümliche latente oder specifische Wärme jedes einzelnen Körpers in seinen übrigen Eigenschaften aufzufinden, als die Verschiedenheiten der Cohäsionsgrade, der Härte, Zähigkeit und Elasticität oder die Eigenthümlichkeiten des Klanges weiter zu erklären. Nur so viel möchte sicher sein, daß die Cohäsionsverhältnisse hier von besonderer Wichtigkeit sind; denn durch Veränderungen der Cohäsion wird Wärme frei oder gebunden, und mit den Cohäsionsgraden steigt oder fällt die latente und die specifische Wärme der Stoffe.

Wo in der Natur Veränderungen im Cohäsionszustande der Körper vorkommen, da werden sie sehr häufig durch die Wärme allein oder mit Hilfe der Wärme bewirkt. Wir machen daher noch auf die unendliche Wichtigkeit aufmerksam, welche die Wärme durch diese Wirkungen für das Ganze wie für die einzelnen Theile der Natur erhält. Sie schmilzt die Laven, welche aus den Oeffnungen unserer Vulkane ausfließen; sie hält ohne Zweifel den Kern unseres Erdkörpers fortwährend in feurigem Fluß; und an der Bildung unserer Gebirge hat sie gewiß durch Hervortreibung feurig flüssiger Massen aus der

Digitized by Google

Tiefe einen bedeutenden Antheil genommen. Ferner bildet sie aus Eis Wasser, aus tropfbarflüssigem Wasser gasförmiges, und führt auf diese Weise die wäßrige Hülle unseres Erdkörpers durch drei Stufen hindurch; sie verwandelt Eismassen zuerst in bewegliche Quellen, Flüsse und Meere, dann in den Wasserdunst, der in die mächtigen Bewegungen der Atmosphäre hineingerissen wird. Durch die Veränderung der Cohäsion verändert sie auch das specifische Gewicht. Denn jemehr ein Körper durch Wärme ausgedehnt wird, desto weniger Masse enthält er im gegebenen Raume, desto mehr nimmt sein specifisches Gewicht ab; und bei der Ueberführung der Körper aus dem festen Zustande in den tropfbarflüssigen und gasförmigen wird das specifische Gewicht in noch viel bedeutenderem Grade vermindert. Daher vermittelt die Wärme die auf- und absteigenden Strömungen, welche man in großen Wassermassen und noch mehr in dem mächtigen Luftmeere findet; wärmere Theilchen steigen in beiden Flüssigkeiten in die Höhe, kältere sinken als specifisch schwerer herab, und so erhält sich besonders in der Atmosphäre die gleichmäßige und heilsame Mischung der Luftarten, welche an einzelnen Orten durch Ausdünstungen beeinträchtigt wird, und doch für das Athmen der Thiere und Pflanzen die größte Bedeutung hat.

Wir haben bisher die Wärme blos in ihrem Verhältniß zur Cohäsion und Dichtigkeit der Körper betrachtet, und ihr Auftreten und Verschwinden bei Veränderungen der Cohäsion angeführt. Wir lassen auch jetzt noch die übrigen Arten der Wärmeerzeugung bei Seite; erst später wird es möglich sein, von der Wärme zu sprechen, welche durch das Sonnenlicht, durch Elektricität, durch Verbrennungen, durch die organischen Vorgänge in Thieren und Pflanzen entsteht. Zunächst ist es nöthig, die Weise zu untersuchen, in welcher sich die Wärme von einem Körper den übrigen mittheilt. Diese Fortpflanzung wird erst über die eigentliche Natur der Wärme Licht verbreiten können.

Digitized by Google

Wenn ein eiserner Stab an dem einen Ende erhitzt wird, während man das andere Ende mit der Hand hält, so weiß Jedermann, daß die Wärme sich von dem einen Ende des Metalls zum andern fortpflanzt, daß es zuletzt unmöglich wird, den Stab noch länger in der Hand zu halten. Es ist also eine tägliche Erfahrung, daß die Wärme in den Körpern von einem Theile zum andern fortgeleitet wird. Der Zustand der Erwärmung bleibt nicht auf das Eine, zuerst erwärmte Ende des Stabes beschränkt, sondern er theilt sich der nächsten Strecke, und so allmählig der ganzen Länge des Stabes mit. Die Fortbewegung der Wärme hört im Stabe erst dann auf, wenn dieser in seiner ganzen Masse gleich erwärmt ist, wenn alle seine Theilchen sich im Gleichgewichte der Wärme befinden. Man nennt dieß die Leitung der Wärme.

Im Allgemeinen nimmt der Grad der Wärme in den leitenden Körpern mit der Entfernung von der Wärmequelle ab. Indeß verhalten sich die einzelnen Körper hierin sehr verschieden. Die Metalle sind unter allen die besten Wärmeleiter; ein schlechter ist trockene Luft, und daher kommt allen ungleichförmigen, von Luft unterbrochenen Körpern, den Haaren und Federn, den wollenen Zeugen, dem Holz, der Asche und der Kohle, eine sehr geringe Wärmeleitungsfähigkeit zu. Solche lockere Substanzen halten deßwegen auch in den Körpern, welche sie einhüllen, die Wärme am besten zusammen; der Schnee schützt das darunter befindliche junge Getreide, die Haare und Federn die Säugethiere und Vögel, unsere Kleiderstoffe den menschlichen Körper vor rascher und bedeutender Entziehung von Wärme, vor dem Erfrieren. Außer der Luft ist noch das Wasser als ein schlechter Wärmeleiter zu erwähnen; aber in beiden Medien und überhaupt in den elastischen und tropfbaren Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme rascher, als die Leitungsfähigkeit es erwarten ließe. Wenn man z. B. Wasser in einem Gefässe durch eine Weingeistflamme von unten erhitzt, so werden die Flüssigkeitstheilchen, auf welche die Flamme zunächst wirkt, zuerst er-

Digitized by Google

wärmt, ausgedehnt und specifisch leichter gemacht; sie bleiben nicht am Boden des Gefässes sitzen, sondern vermöge der großen Verschiebbarkeit der tropfbaren Flüssigkeiten steigen sie in die Höhe, und statt ihrer sinkt ein Theil der noch nicht erwärmten, also schwereren Wassertheilchen zu Boden. Auf diese Weise führen die erwärmten Theilchen nicht nur ihre Wärme in die oberen, kälteren Schichten, um etwas von ihr an diese abzugeben; sondern alle einzelnen Wassertheilchen kommen nacheinander mit der Wärmequelle in direkte Berührung. Ebenso verhält es sich, wenn Luft von unten her erwärmt wird; die auf- und abgehenden Strömungen bewirken die gleichmäßige Vertheilung der Wärme mit einer Schnelligkeit, welche sich aus dem bloßen Leitungsvermögen durchaus nicht erklären ließe. Man braucht nur die Erwärmung einer Wasser- oder Luftmasse durch eine von oben wirkende Wärmequelle zu versuchen, um bei Ausschluß der Strömungen die unbedeutende Leitungsfähigkeit jener Flüssigkeiten einzusehen.

Alle bisher untersuchten Verhältnisse der Wärme, ihre Entstehungsweise, ihre Wirkung auf die Cohäsion der Körper, ihre Fortleitung von dem einen Theile eines Körpers zu den übrigen, scheinen auf den ersten Blick mit der Annahme eines eigenen Wärmestoffes sehr wohl vereinbar zu sein. Wir würden uns vorstellen, dieser Stoff rufe durch seine Anwesenheit in unseren Hautnerven das Gefühl von Wärme hervor, und er werde von andern Stoffen in die unsichtbaren Zwischenräume ihrer Substanz gerade so aufgenommen, wie z. B. Wasser in die Zwischenräume lockerer Körper mit Leichtigkeit eindringt, oder wie die Gase in den feinen Poren der Kohle und des Platinaschwammes verdichtet werden. Bei der Aufnahme von Wärme weichen die kleinsten Theilchen der Körper auseinander und hiedurch entstehe die Ausdehnung der ganzen Masse; wenn man Wärme entziehe, so nehmen die Körper durch Annäherung ihrer Theilchen wieder ein geringeres Volumen an. Zusammendrückung bewirke, daß der Wärmestoff aus den unsichtbaren

Digitized by Google

Zwischenräumen der Körper entweicht. Wie das Wasser in porösen Gegenständen, in thierischen Häuten, in ungeleimtem Papiere sich ausbreitet, so pflanze sich der Wärmestoff in leitenden Körpern von einem Punkte aus nach allen Seiten fort. Die Vertreter dieser Theorie glauben sich berechtigt, den Wärmestoff anderen, in der Natur vorkommenden Substanzen gleich zu stellen. Wir bemerkten schon beim Lichte, daß wir als Charakter aller Körper oder Stoffe die Eigenschaft anerkennen, durch die Kraft der Schwere theils anzuziehen theils angezogen zu werden. Bei den Körpern, welche sich an der Erdoberfläche befinden, äußert sich diese Eigenschaft durch den Druck, welchen sie auf ihre Unterlage ausüben, durch ihr Gewicht. Es mußte daher vor allem die Frage entstehen, ob der Wärmestoff schwer, wägbar sei; aber alle angestellten Versuche führten auf das Resultat, daß ihm kein Gewicht zukomme. Er würde daher so wenig als der Lichtäther zu den wägbaren Stoffen, sondern zu den unwägbaren Substanzen, zu den sogenannten Imponderabilien gehören, und da die Existenz der letzteren als eigener Stoffe zweifelhaft ist, da wir insbesondere von der Wärme keine andre Eigenschaft kennen, als den bekannten Eindruck auf unsere Hautnerven, so müssen wir schon aus diesen Gründen Anstand nehmen, als Ursache des Wärmeeindruckes uns eine an sich warme Substanz zu denken. Zu diesen Schwierigkeiten kommen aber noch andre, welche aus einer weiteren Art der Wärmefortpflanzung entspringen.

Von den offenen Kaminen, welche in manchen Ländern, z. B. in England und Frankreich, statt der Oefen zur Zimmerheizung benützt werden, ist es bekannt, daß sie den menschlichen Körper in ihrer Nähe nur auf Einer Seite schnell erwärmen, auf der andern Seite aber kalt lassen. Dasselbe bemerkt man in geringerem Grade bei stark geheizten eisernen Oefen; während die abgekehrte Seite des Körpers noch friert, empfinden diejenigen Theile, welche dem Ofen zugekehrt sind, eine lästige Hitze. Es ist klar, daß Kamine und Oefen die Luft eines

Digitized by Google

Zimmers nicht gleichmäßig erwärmen, sondern daß ihre Wärme an einzelne Orte und zu einzelnen Gegenständen rascher gelangt als zu andern. Untersucht man nun weiterhin die Luftschichten, welche sich zwischen der Wärmequelle und dem menschlichen Körper befinden, so zeigen sich diese keineswegs auf eine solche Weise erwärmt, daß daraus das Hitzegefühl des Körpers sich erklären ließe; die Wärme muß daher von den Kaminen und Oefen zum Körper gelangen, ohne der zwischenliegenden Luft eine merklich höhere Temperatur mitzutheilen.

Hier liegt also eine Art von Fortpflanzung der Wärme vor, welche von ihrer gewöhnlichen Leitung wesentlich abweicht. Statt von einer Stelle der Luft, welche sich in der Nähe der Wärmequelle befindet, langsam und stetig nach allen Seiten hin sich auszubreiten und einem Theilchen nach dem andern die gleiche Temperatur zu geben, durcheilt die Wärme dicke Luftschichten mit einer Schnelligkeit, welche dem geringen Leitungsvermögen der Luft ganz widerspricht; sie erhöht die Temperatur der durchlaufenen Luftschichten um keine merkliche Größe; aber sobald sie den menschlichen Körper trifft, hört sie auf sich rasch zu bewegen, und theilt dem Körper eine der Wärmequelle entsprechende Temperatur mit.

Es ist kein Zweifel: die Wärme bewegt sich unter gewissen Umständen sehr schnell, und geht durch gewisse Körper durch, ohne sie zu erwärmen. Man hat sie in dieser Beziehung mit dem Lichte verglichen; man hat ihr gleichfalls Strahlen beigelegt und die ganze Erscheinung als Wärmestrahlung bezeichnet.

Diejenigen Körper, welche Wärme durchlassen, ohne selbst erwärmt zu werden, verhalten sich zur Wärme ganz so, wie die durchsichtigen Körper zum Licht; man hat sie diatherman genannt; den undurchsichtigen Körpern entsprechen die athermanen. Nach den bisherigen Beobachtungen scheint es, daß die Durchsichtigkeit und die Diathermanie der Körper nicht ganz außer Beziehung zu einander stehen. Man hat bis jetzt noch keinen diathermanen Körper gefunden, der gar kein Licht durchgelassen

hätte; Metalle z. B. sind völlig atherman. Aber auf der andern Seite nimmt die Diathermanie mit der Durchsichtigkeit keineswegs in gleichem Verhältnisse ab oder zu. Steinsalz und Alaun sind farblose Körper von gleicher Durchsichtigkeit; aber die Zahl der Wärmestrahlen, welche jeder der beiden Körper durchläßt, ist höchst verschieden; wird sie beim Steinsalz = 92 angenommen, so verhält sie sich beim Alaun nur = 12. Dagegen ist die Diathermanie des rauchgrauen Bergkrystalls oder Rauchtopases sehr bedeutend, = 57, und selbst schwarzes Glas und schwarzer Glimmer lassen mehr Wärmestrahlen durch als Alaun. Der höchste Grad von Diathermanie kommt der athmosphärischen Luft zu; nächst ihr nimmt das Steinsalz die erste Stelle ein. Aber auch diese Substanzen sind nicht absolut diatherman, sondern verschlucken, absorbiren wenigstens eine sehr geringe Zahl der durchgehenden Wärmestrahlen; mit abnehmender Diathermanie vermehrt sich natürlich die Einsaugung oder Absorption, und diese wächst überdieß in geringem Maaße mit der Dicke der Körper.

Da die Wärmestrahlen sich in allen diesen Beziehungen den Lichtstrahlen sehr ähnlich zeigen, so ließ sich vermuthen, daß sie, wie die letzteren, nicht geradlinig durch die Körper durchgehen, sondern an der Oberfläche derselben von ihrer Richtung abgelenkt werden würden. In der That findet in diathermanen Substanzen eine Brechung der Wärmestrahlen statt. Und ebenso hat auch die Reflexion des Lichtes ihr Gegenbild in einer Reflexion der Wärmestrahlen; der Reflexionswinkel ist, wie bei Licht und Schall, dem Einfallswinkel gleich. Wie Licht von polirten Flächen am besten zurückgeworfen wird, so reflektiren polirte Metallplatten die Wärmestrahlen am vollkommensten; je unebener eine Oberfläche ist, desto mehr Wärmestrahlen saugt sie ein.

Es bleibt jetzt noch Eine Frage übrig: ob nämlich die Wärmestrahlen alle gleichartig seien; ob es nicht neben der Diathermanie, der Brechung und Zurückwerfung der Wärmestrahlen auch noch eine Verschiedenheit derselben gebe, welche

dem Unterschiede der farbigen Lichtstrahlen entspreche; mit Einem Worte: ob die Wärmestrahlen nicht ebensogut als die Lichtstrahlen eine verschiedene Brechbarkeit besitzen. Man findet eine solche Verschiedenheit allerdings, wenn man Wärmestrahlen durch ein Prisma von Steinsalz zerlegt; am besten wählt man hiezu den Sonnenstrahl, mit welchem außer den Lichtstrahlen auch Wärmestrahlen an unsere Erdoberfläche gelangen. Diese Wärmestrahlen beschränken sich nach ihrer Zerlegung durch das Prisma nicht auf die Fläche des Lichtspektrums; sondern sie zeigen sich theils brechbarer als Violett, theils weniger brechbar als Roth, und das Wärmespektrum geht daher an beiden Enden über das Lichtspektrum hinaus. Die brechbarsten Wärmestrahlen erregen die geringste, die am wenigsten brechbaren die höchste Temperatur; diese wächst daher allmählig gegen Roth hin und noch über Roth hinaus.

Während wir an unserem Auge ein sehr feines Organ besitzen, um alle Unterschiede des farbigen Lichtes zu erkennen, so fehlt uns jede Möglichkeit, mit Hilfe unseres Körpers die verschiedenartigen Wärmestrahlen von einander zu unterscheiden. Die Untersuchung der Wärmefarben, wenn wir so sagen dürfen, ist darum unendlich schwieriger als die der Lichtfarben. Doch ist es gelungen, noch weitere Aehnlichkeiten zwischen der farbigen Wärme und dem farbigen Lichte zu entdecken. Wie nämlich die einen Körper weißes, die andern rothes, die dritten gelbes Licht ausstrahlen, so gehen auch von verschiedenen Wärmequellen verschiedenartige Wärmestrahlen aus. Und wie farbige Körper einige der farbigen Strahlen einsaugen und die andern zurückwerfen oder durchlassen, so verhalten sich auch die Körper nicht zu allen Wärmestrahlen, welche von verschiedenen Wärmequellen kommen, ganz gleich; sondern sie sind bald für die einen bald für die andern in höherem Grade diatherman; sie üben bald auf die einen bald auf die andern eine stärkere Absorption aus. Das Steinsalz allein gleicht den farblosen durchsichtigen Körpern dadurch, daß es die verschiedenen Wärme-

Digitized by Google

man mit sogenannten Brenngläsern nicht blos Licht, sondern auch Wärme auf Einem Punkte sammelt und dadurch leichtbrennende Körper entzündet; aus ihnen ist es zu erklären, daß bei längerer Einwirkung der Sonnestrahlen unsere Haut sich auf dieselbe Weise, wie bei hohen Temperaturgraden, verändert, daß sie sich entzündet, daß die Oberhaut sich abstößt oder in Blasen erhebt. Es muß späteren Abschnitten vorbehalten bleiben, alle die Schlüsse zu ziehen, welche sich aus den Wärmestrahlen der Sonne für das Klima der verschiedenen Breiten und Höhen der Erdoberfläche ergeben. Für jetzt heben wir nur die Ansicht hervor, daß eine Erregung von Wärme durch Licht bis jetzt keineswegs bewiesen ist. In einem ähnlichen Verhältniß steht die Wärme zum Schall. Das Tönen der Körper erzeugt keine Wärme; aber beim Uebergang der Wärmestrahlen von einem erhitzten Metallstücke in ein kaltes werden in dem ersteren unter gewissen Umständen Schallschwingungen erregt; der wärmestrahlende Körper kommt also theils ins Tönen, theils viel häufiger ins Glühen.

Wenn nun die Wärmestrahlen in so vielen Beziehungen die größte Aehnlichkeit mit den Lichtstrahlen besitzen, wenn sie im Stande sind, Licht und Schall zu erregen, so liegt die Vermuthung sehr nahe, daß der strahlenden Wärme ein ähnlicher Vorgang zu Grunde liege, wie dem Licht und Schall, daß auch jene nicht auf Fortbewegung eines eigenen Wärmestoffes, sondern auf Schwingungen der Materie beruhe. Man könnte auch hier von einem Wärmeäther sprechen, welcher alle Körper durchdringt und dessen Schwingungen auf unsrer Haut den Eindruck von Wärme hervorrufen. Aber wir sehen, wie beim Lichte, von der Annahme eines solchen schwingenden Aethers ab; wir bedürfen für unsere Zwecke einer solchen Aushilfe nicht. Der Schall, das Licht, die strahlende Wärme sind für uns in Schwingungen begründet, welche bei jedem einzelnen wieder ihre besonderen Gesetze befolgen. Die Wärme steht dem Lichte näher als dem Schalle; aber auch von jenem ist sie wesentlich

verschieden, und es bedarf nur eines Rückblickes auf die frühere Vergleichung zwischen Licht- und Wärmestrahlen, um zu beweisen, daß beide zwar innig verwandt, aber nicht von derselben Natur, nicht von Einem Ursprunge sind. Wir haben genügend gezeigt, daß die Schwingungen des Schalles und des Lichtes nach festen mathematischen Regeln vor sich gehen, daß die Höhe und Tiefe der Töne, daß die Farben der Körper durch die Zahl der Schall- und Lichtschwingungen bedingt sind. Aehnliche Gesetze haben sich für die strahlende Wärme bis jetzt noch nicht aufstellen lassen; es ist nicht einmal annähernd gelungen zu bestimmen, welche Schwingungszahl gewisse Wärmestrahlen in der Sekunde besitzen. Ebensowenig findet sich in den bisherigen Erfahrungen auch nur eine Andeutung, daß die verschiedenartigen Schwingungen der Wärme unter sich in einem ähnlichen Verhältnisse stünden, wie die Schallschwingungen, welche sich zu Accorden vereinigen, oder die Lichtschwingungen, welche mit einander das weiße Licht zusammensetzen. Spätere Untersuchungen müssen erst diese Punkte noch weiter aufklären; und es wird sich dann auch zeigen, ob unseren Hautnerven jede Fähigkeit fehlt, die einzelnen Wärmestrahlen von einander zu unterscheiden. Wir lieben die einen Farben oder Töne mehr als die andern, und vielleicht gibt es auch Wärmequellen, welche durch die Art und Schwingungszahl ihrer Strahlen unsern Körper besonders angenehm oder unangenehm afficiren.

Wenn die Wärmestrahlung auf demselben Vorgange beruht, wie Licht und Schall, so kann auch die Wärmeleitung nicht mehr einem eigenen Wärmestoff zugeschrieben werden; sie muß ihren Grund gleichfalls in Bewegungen der Materie haben. Wir denken uns, daß die Wärmeschwingungen immer dieselben sind, daß sie sich nur unter verschiedenen Verhältnissen mit verschiedener Schnelligkeit fortpflanzen. Das eine Mal geht die Schwingung von einem Körpertheilchen langsam auf das andre über; das andre Mal erregt sie entsprechende Schwingungen schnell auf größere Strecken hin. Die erstere Art der

Digitized by Google

Fortpflanzung, die Leitung, ist bei allen Körpern möglich; die letztere, die Strahlung, tritt um so mehr hervor, je diathermaner ein Körper ist; beide Arten gehen wechselseitig in einander über. Durch diese Verschiedenheit der Leitung und Strahlung weicht die Wärme von Licht und Schall bedeutend ab; denn die Schnelligkeit der Fortpflanzung wird durch die Natur der Körper bei dem ersteren kaum merklich, bei dem letzteren nicht bedeutend abgeändert. Das Verhältniß von Leitung und Strahlung der Wärme ist aber bis jetzt noch nicht gehörig ergründet, und es fehlt daher der Wärmelehre die große Klarheit und mathematische Schärfe, durch welche die Lehren vom Schall und Licht sich auszeichnen. Gewiß aber wird es künftigen Untersuchungen gelingen, auch in allen Wärmeerscheinungen mathematische Regeln nachzuweisen, und sowohl die Leitung als die Strahlung der Wärme auf die allgemeinen Bewegungsgesetze mit Genauigkeit zurückzuführen.

Wir haben gezeigt, daß die Wärme mit der Cohäsion der Körper in viel innigerer Beziehung steht, als Licht und Schall. Sie wird nicht blos durch die Verschiedenheiten des inneren Zusammenhaltes der Theilchen in ihrer Erscheinung bestimmt und verändert; sondern sie wird durch den Uebergang aus einem Cohäsionszustande in den andern hervorgerufen oder zum Verschwinden gebracht, und umgekehrt übt sie selbst auf die Cohäsionszustände der Körper einen Einfluß aus, wie er weder Licht und Schall, noch Magnetismus und Elektricität zukommt. Wir können wohl behaupten, daß nicht sowohl die äußeren Eigenschaften, als der innere Bestand jedes einzelnen Körpers von der Wärme abhängig sei, daß jeder Körper diesen innern Bestand durch die Wärmemenge ausdrücke, welche er aufnimmt oder abgibt, daß endlich durch die Absorption und Ausstrahlung der Wärme die einzelnen Körper in eine Wechselbeziehung zu einander treten, deren endliches Resultat das Gleichgewicht der Erwärmung sein muß.

Auch für den Bestand des menschlichen Körpers ist die

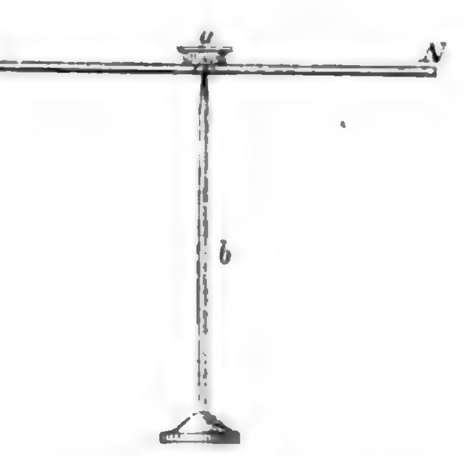
Digitized by Google

Wärme von größter Wichtigkeit; sie wird theils in seinem Innern erzeugt, theils in seiner Umgebung durch die Sonnenstrahlen oder durch künstliche Mittel hervorgebracht. Aber die Wärme berührt durch ihren Eindruck nicht die höheren Kreise des menschlichen Bewußtseins; sie erregt nicht, wie Licht und Schall, in der Seele bestimmte Gefühle und Vorstellungen; sondern das richtige Maaß der Erwärmung erfüllt uns mit Behagen, und wenn die Erwärmung unseres Körpers über jenes Maaß hinaus steigt oder fällt, entsteht Mißbehagen in unserer Seele. In diesen dunkeln und unbestimmten Gefühlen werden wir uns bewußt, daß unser körperliches Bestehen bald durch die richtige Temperatur gesichert, bald durch Wärmeentziehung oder durch zu starke Wärmezufuhr beeinträchtigt ist. Beide Extreme der Temperatur finden sich in den heißen und kalten Klimaten der Erde; unter ihrem Einflusse leidet die freie Thätigkeit der Seele, die Energie des Geistes; in den Klimaten von mittlerer Temperatur hingegen geschehen die inneren Vorgänge unseres Körpers mit größerer Ordnung und Leichtigkeit, und hier vermag der Geist seine höchste Spannkraft zu entwickeln und zu bewahren.

7) **Magnetismus.** Im gewöhnlichen Leben denkt man sich oft die Kälte als den geraden Gegensatz der Wärme; man stellt sich vor, daß beide einander aufheben oder wenigstens mäßigen. In Wahrheit ist die Kälte der Wärme gar nicht entgegengesetzt; sondern wir sprechen von Kalt bei niedern Wärmegraden, von Warm bei höheren Wärmegraden und richten uns bei dieser Bestimmung nach dem Maaße, welches uns die Empfindungen unserer Hautnerven von der äußern Wärme geben. Beobachten wir hingegen die Bewegungen einer Magnetnadel, so wird es auf den ersten Blick deutlich, daß ihre beiden Endpunkte oder Pole nach verschiedenen Richtungen hinstreben. Auf welche Weise man die Nadel aus der Ruhe bringt, immer wird sie wieder in einer solchen Lage zur Ruhe kommen, daß der eine Pol gegen Norden, der andre gegen Süden gerichtet

Digitized by Google

ist. Wir nehmen an, daß die Magnetnadel hiebei von einer Kraft bewegt wird, welche nicht gleichmäßig auf die ganze Masse der Nadel, sondern auf ihre beiden Endpunkte in entgegengesetzten Richtungen anziehend wirkt. Hiemit eröffnet sich uns ein großes Feld, auf welchem neue Erscheinungen und Gesetze auftreten.



Wir gehen von der Magnetnadel aus, und denken uns diese so aufgestellt, daß sie auf dem spitzigen Ende a des Stabes b im Gleichgewichte ruht und in horizontaler Richtung der freiesten Bewegung fähig ist. Wenn wir diese Nadel sich selbst überlassen, so kehrt sie, wie schon bemerkt wurde, das eine Ende gegen Norden, das andere gegen Süden, und wir bezeichnen jenes als Nordpol, dieses als Südpol. Diese Richtung ist bei allen Magnetnadeln, wenn nicht anderweitige Verhältnisse einwirken, auf der ganzen Erdoberfläche dieselbe. Nähert man nun zwei Magnetnadeln einander, so ist es auf den ersten Blick sehr wahrscheinlich, daß beide Nadeln ihre bisherige Richtung beibehalten, daß also bei völliger Näherung derselben der Nordpol der einen neben den Nordpol der andern und ebenso die beiderseitigen Südpole neben einander zu liegen kommen werden. Diese Vermuthung bestätigt sich aber nicht; sondern man findet, daß die Nadeln mit zunehmender Näherung ihre bisherige Richtung immer mehr verlassen. Ihre Lageveränderung wird dadurch veranlaßt, daß die beiderseitigen Nordpole und ebenso die beiderseitigen Südpole sich von einander entfernen; die Pole von gleicher Richtung, die sogenannten gleichnamigen Pole der Magnetnadeln fliehen sich. Dagegen kommen die Nadeln dadurch wieder zur Ruhe, daß der Nordpol der einen den Südpol der andern, der Südpol der einen den Nordpol der andern aufsucht. Die Lage der Nadeln a und b wird am Ende so, wie

Digitized by Google

es die nebenstehende Abbildung angibt; beide sind hier an einem Faden aufgehängt und kehren die entgegengesetzten Pole gegen einander. Wir leiten aus diesen Beispielen die wichtigsten Gesetze des Magnetismus ab: daß zwei magnetische Körper sich anziehen, daß aber ihre Anziehung nicht gleichmäßig durch ihre ganze Masse hindurch, sondern entgegengesetzt an zwei Polen wirkt, daß endlich die gleichnamigen Pole sich abstoßen und die ungleichnamigen sich anziehen.

Die magnetische Anziehung äußert sich in den Nadeln nicht blos bei unmittelbarer Berührung, sondern auch auf kleinere und größere Entfernungen; sie gleicht hierin der Anziehung, welche die Schwerkraft auf alle Körper ausübt. Auch darin stimmt die anziehende Kraft der Magnete mit der Schwerkraft überein, daß ihre Stärke im Quadrate der Entfernung abnimmt, daß sie z. B. bei doppelter Entfernung vierfach schwächer wird. Aber von allen bisher betrachteten Kräften, von Cohäsion und Schwere, weicht sie durch ihre ungleichförmige Vertheilung in den Körpern auffallend ab. Das Gewicht eines Körpers bleibt dasselbe, mit welcher Fläche man ihn auf die Wagschaale legen mag; die Cohäsion wechselt in den verschiedenen Theilen eines Körpers nur wenig. Aber die magnetische Anziehung ist sowohl dem Grade als der Art nach sehr verschieden, je nachdem man verschiedene Punkte der Magnetnadel untersucht.

Bewegt man z. B. den Südpol der einen Nadel an einer andern Nadel vom Nordpol bis zur Mitte hin, so bemerkt man, daß die anziehende Kraft der letztern in der Nähe des Endes ihren höchsten Grad erreicht, daß sie mit der Entfernung vom Ende anfangs langsamer, dann rascher abnimmt und in der Mitte endlich völlig gleich Null ist. Dieselben Verhältnisse findet man, wenn die andere Hälfte der Nadel vom Südpol

Digitized by Google

gegen die Mitte hin untersucht wird. Die Stärke der magnetischen Anziehung ist also am größten in der Nähe der Pole; sie vermindert sich gegen die Mitte hin, und im Mittelpunkte selbst hat sie völlig aufgehört, sich zu äußern. Ihre Vertheilung läßt sich am besten durch eine Linie versinnlichen, an deren Endpunkten die höchste Concentration der Kraft, in deren Mitte der Nullpunkt oder Indifferenzpunkt sich befindet. Beide Pole verhalten sich also in Bezug auf den Grad der Kraft gleich; aber die Art der Anziehung ist bei ihnen eine entgegengesetzte. Es läßt sich über diesen Gegensatz der Pole vorerst gar nichts weiter sagen, als daß der Nordpol der Nadel gegen den Nordpol der Erde, der Südpol der Nadel gegen den Südpol der Erde gerichtet sei. In der Gestalt, in dem Cohäsionszustande, in der Dichtigkeit der Nadelenden ist bis jetzt noch nichts aufgefunden worden, was ihre entgegengesetzte Richtung irgendwie erklären könnte.

Die Magnetnadeln, welche wir benützen, werden aus Stahl d. h. aus gehärtetem Eisen verfertigt; alle andern Metalle stehen an Brauchbarkeit zu diesem Zwecke weit hinter dem Eisen zurück; Nickel und Kobalt, zwei Metalle, welche sich dem Eisen chemisch am meisten nähern, leisten als Magnetnadeln nur unvollkommene Dienste. Wir verfertigen aus Stahl aber nicht blos dünne Stäbe, welche an Fäden oder auf spitzigen Unterlagen schwebend erhalten werden und sich immer in der Richtung der Erdpole stellen; sondern der Stahl wird auch zu größeren und schwereren Magnetstäben verarbeitet, welche man in der Regel hufeisenförmig krümmt; diese entwickeln eine viel stärkere Anziehungskraft als die schwachen Magnetnadeln. Außer diesen künstlichen Magneten gibt es auch einige natürliche, und dahin gehört insbesondere ein Eisenerz, der sogenannte Magneteisenstein, welcher an seiner Oberfläche dieselben Pole zeigt, wie die magnetische Nadel. Aber alle künstlichen und natürlichen Magnete stehen an Kraft weit zurück hinter dem Erdkörper selbst. Die dauernde Richtung der frei schwebenden Magnetnadel hat ihren

Digitized by Google

Grund in nichts Anderem, als in der magnetischen Anziehung, welche der Erdkörper auf magnetisches Eisen ausübt. Auch an der Erde unterscheiden wir zwei magnetische Pole, die nicht ganz mit den Erdpolen, d. h. mit den Enden der Umdrehungsaxe der Erde zusammenfallen. Der magnetische Nordpol der Erde zieht das eine, der magnetische Südpol der Erde das andere Nadelende an. Wir haben jenes Ende nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauch als den Nordpol, dieses als den Südpol der Nadel bezeichnet; aber da immer die ungleichnamigen Pole sich anziehen, so sollte eigentlich das erstere der Südpol, das letztere der Nordpol heißen.

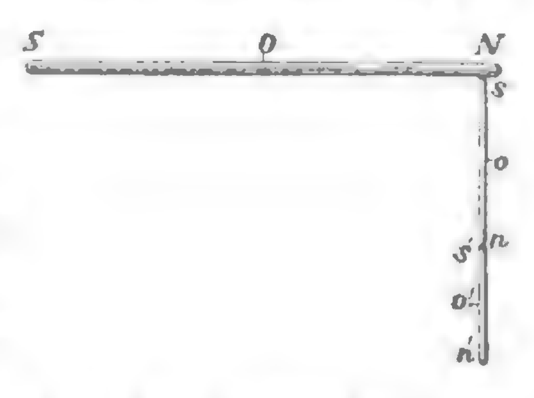
Es ist also dieselbe magnetische Kraft, welche in der schwachen Magnetnadel und im mächtigen Erdkörper, in unseren Laboratorien und an der weiten Erdoberfläche Anziehung und Abstoßung bewirkt. Aber tritt der Magnetismus sonst nirgends auf, als im Erdkörper und in unsern natürlichen und künstlichen Magneten? ist er keine allgemeine, sondern eine auf enge Kreise beschränkte Erscheinung?

Der Magnet zieht nicht blos wieder Magnete an; sondern er äußert seine Anziehungskraft auch auf nicht magnetisches Eisen; Eisenfeile, stählerne Nadeln, größere Eisenstücke werden von den Magneten angezogen und festgehalten. Und hiebei kommt der Gegensatz der beiden Pole zunächst gar nicht in Betracht; die Anziehung ist in der Mitte des Magnets gleich Null und wächst gleichmäßig nach beiden Polen hin. Diese Wirkung auf Eisen ist es, an welcher man im Allgemeinen Magnete erkennt. Aber das Gebiet des Magnetismus erweitert sich zugleich durch diese Erscheinung auf eine unerwartete Weise. Nicht blos das Eisen wird vom Magnete angezogen; sondern es zeigt diese Eigenschaft nur in viel höherem Grade als andere Substanzen. Nach ihm folgt zunächst wieder Nickel, dann Kobalt, dann andere Metalle, wie Mangan, Chrom, Titan, Platina, Aluminium; auch Papier, Siegellack, Porzellan, Asbest, Zinnober, Graphit, Holzkohle und noch andre Substanzen werden vom Magnete

Digitized by Google

in geringem Grade angezogen. Alle diese Körper werden **magnetisch** genannt. Auf welche Weise wirkt nun der Magnet auf sie ein? besitzen sie an sich schon Kräfte, durch welche sie dem Magnete genähert werden, oder erweckt dieser in ihnen neue Eigenschaften? theilt er ihnen vielleicht etwas von seinem Magnetismus auf dieselbe Weise mit, wie Wärme von einem Körper auf den andern übergeht?

Der Magnet verliert von seiner Kraft durchaus nichts durch die Anziehung magnetischer Körper; der Magnetismus verhält sich also hierin keineswegs wie die Wärme. Aber der Magnet erregt erst in den magnetischen Körpern das Bestreben, sich ihm zu nähern und an ihm zu haften; die Fähigkeit, der magnetischen Anziehung zu folgen, ist vor allem begründet in der Natur der magnetischen Körper; aber sie kommt erst unter dem Einflusse des Magnets zur Aeußerung. Nehmen wir z. B. den Magnet SN und hängen an seinen Nordpol die Stahlnadel sn, so erklärt sich die Anziehung der Nadel einfach daraus, daß in ihr durch die Nähe des Magnets derselbe Zustand hervorgerufen wird, welcher dem Magnete selbst zukommt. Auch in der Nadel sn bilden sich jetzt zwei Pole, ein Südpol s und ein Nordpol n, und zwar jener gegenüber dem Nordpol des Magnets, dieser am entgegengesetzten Ende, und zwischen beiden entsteht der Indifferenzpunkt o. Die Nadel wirkt, so lange sie mit dem Magnet in Berührung ist, selbst als kleiner Magnet auf andere magnetische Körper ein; so hält sie wiederum die kürzere Nadel s′n′ fest und ruft in ihr gleichfalls einen Nullpunkt und zwei Pole hervor.



Die beiden Anziehungskräfte, von welchen früher die Rede war, nämlich die Cohäsionskraft und die Schwerkraft, kommen in jedem Körper unmittelbar und ohne äußere Einflüsse zur Erscheinung. Die Kraft der magnetischen Anziehung hingegen

Digitized by Google

bedarf, um sich zu äußern, eines fremden Anstoßes. Wir fanden als Charakter dieser Kraft, daß sie in zwei entgegengesetzten Richtungen wirkt. Um nun ihre Erregung in den magnetischen Körpern zu erklären, nehmen wir an, daß sie in diesen Körpern ununterbrochen vorhanden ist, daß sie sich aber in ihnen gewöhnlich in demselben ungeschiedenen und unwirksamen Zustande befindet, wie am Indifferenzpunkte des vollständigen Magnets. Wir denken uns, daß sie erst durch die Einwirkung des Magnets in ihre beiden Gegensätze geschieden oder zerlegt wird, und daß erst mit dieser Zerlegung die Wirksamkeit der Kraft beginnt. Die magnetische Anziehungskraft äußert sich also nur insofern, als sie in ihre beiden Gegensätze auseinandergeht; wir nennen diesen Vorgang ihre Vertheilung.

Es ist aus der bisherigen Untersuchung klar geworden, daß magnetische Körper unter dem Einflusse von Magneten, also in unmittelbarer Berührung mit ihnen oder in ihrer Nähe, durch Entwicklung der polaren Gegensätze selbst zu Magneten werden. Es kann daher nicht Wunder nehmen, daß die leichte Magnetnadel nicht blos feine Eisentheilchen anzieht, sondern schwereren und unbeweglichen Eisenstücken sich selbst nähert, daß also die Anziehung zwischen Magneten und magnetischen Körpern immer eine gegenseitige ist. In der Regel dauert nun aber die Vertheilung der Kraft in den magnetischen Körpern, z. B. in Eisen, nur so lange fort, als sie unter dem unmittelbaren Einflusse eines Magnets stehen; mit der Aufhebung dieses Einflusses sinkt die magnetische Kraft wieder in ihren vorherigen Zustand der Indifferenz und Unthätigkeit zurück. Von dieser Regel macht insbesondere das gehärtete Eisen oder der Stahl eine Ausnahme; in ihm werden die polaren Gegensätze schwerer geschieden, als in weichem Eisen; aber ihre Scheidung haftet, und die Wirksamkeit der magnetischen Pole dauert auch über den unmittelbaren Einfluß eines fertigen Magnets hinaus fort. Deßwegen verfertigt man die Magnete fast immer

Digitized by Google

aus Stahl, und es ist jetzt nöthig, die Weisen dieser Verfertigung, die Methoden des **Magnetisirens** kurz anzugeben.

Harte Eisenstäbe, welche lang in der Erde gelegen sind, erhalten zwei magnetische Pole, wenn ihr eines Ende gegen den magnetischen Nordpol, das andre gegen den magnetischen Südpol der Erde hingekehrt war, d. h. wenn ihre Längenrichtung nahezu mit der des magnetischen Meridians übereingestimmt hatte. Die bedeutende magnetische Kraft des Erdkörpers hat also hier eine dauernde Vertheilung in dem Eisenstabe hervorgebracht. Gewöhnlich benützt man hingegen Stahlmagnete, um damit andere stählerne Stäbe oder Nadeln zu magnetisiren. Man drückt z. B. den Magnet fest an eine Stahlnadel an und streicht die Nadel von ihrer Mitte aus zuerst nach dem einen, dann nach dem andern Ende hin; und zwar wird die Nadel nach dem einen Endpunkte hin mit dem Nordpol, nach dem andern mit dem Südpol des Magnets gestrichen. An dem ersteren Ende entwickelt sich der Südpol, am zweiten der Nordpol der Nadel; d. h. der Pol, mit welchem die Nadel gestrichen wird, ruft an dieser Stelle immer den entgegengesetzten Pol hervor.

Wir haben jetzt das Gesetz der magnetischen Vertheilung sowohl in der magnetischen Anziehung, als in dem Magnetisiren der Stahlstäbe nachgewiesen. Aber es findet noch eine wichtige Anwendung bei der Beantwortung der Frage, was mit einem Magnete geschieht, wenn man ihn an irgend einer Stelle entzweibricht. Geht, um den einfachsten Fall zu wählen, ein Magnet, welcher an seinem Indifferenzpunkte zerbrochen wird, in zwei Hälften auseinander, von welchen die eine nur dem Nordpol, die andre nur dem Südpol entspricht? hat das eine Stück zu seinen Enden Nullpunkt und Nordpol, das andre Nullpunkt und Südpol? Die Scheidung der magnetischen Kraft in zwei Gegensätze hört mit dem Zerbrechen des Magnets nicht auf; aber ebensowenig vermag irgendwo der eine Gegensatz ohne den andern zu bestehen. Daher treten in jedem Bruchstücke

wieder beide Pole hervor, und zwar bleibt der alte Nordpol und der alte Südpol; aber gegenüber von jenem entsteht ein neuer Südpol, gegenüber von diesem ein neuer Nordpol; und zwischen seinen Polen erhält jedes Stück einen neuen Indifferenzpunkt. Die magnetische Kraft, welche einem Stücke Stahl zukommt, ist ebenso jedem seiner kleinsten Theilchen eigen; und ihre Vertheilung geschieht nicht blos im Großen oder an der Oberfläche, sondern in jedem Theilchen muß die magnetische Kraft als in ihre polaren Gegensätze geschieden gedacht werden.

Außer den Magneten und außer den vielen blos magnetischen Körpern gibt es noch eine ziemliche Anzahl von Körpern, in welchen die magnetische Kraft weder überhaupt vorhanden noch in ihre beiden Pole zerlegbar zu sein scheint. Unter diese Körper gehört besonders das metallische Wismuth.

Hängt man einen Stab von Wismuth zwischen den beiden Polen N und S eines starken Magnets beweglich auf, so verhält er sich nicht wie ein eiserner Stab, welcher seine beiden Endpunkte s und n axial, d. h. gegen die Pole hin richtet; sondern er nimmt die Lage a b, d. h. die äquatoriale Lage an. Wählt man statt des Stabes eine Kugel, so stellt diese sich in keine besondere Lage; aber sie wird, wenn man sie den Magnetpolen nähert, von diesen abgestoßen. Beide Thatsachen erklären sich daraus, daß das Wismuth sich zum Magnete umgekehrt verhält, als die magnetischen Körper, daß die Magnetpole auf jenes abstoßend, auf diese anziehend wirken. Und mit dem Wismuth stimmen in dieser Beziehung viele andre Körper überein; wir erwähnen die Metalle Antimon, Zinn, Zink, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Arsen, dann von andern Substanzen Alaun, Salmiak, Soda, Kalkspath, Wasser, Alkohol, Phosphor, Schwefel, Harz, Glas, Zucker. Alle diese Körper hat man als diamagnetische zusammengefaßt.

Digitized by Google

Wir sind durchaus nicht im Stande anzugeben, warum ein Körper vom Magnete angezogen oder abgestoßen wird, warum er sich magnetisch oder diamagnetisch verhält. Aber so viel läßt sich doch aus den neuesten Beobachtungen mit Sicherheit schließen, daß der Magnetismus nicht, wie man früher glaubte, auf Eisen, Nickel und Kobalt beschränkt ist, sondern daß alle Körper zum Magnete in einer bestimmten Beziehung stehen; alle werden entweder angezogen oder abgestoßen, sind entweder magnetisch oder diamagnetisch, und der Magnetismus erhebt sich auf diese Weise zu einer allgemeinen und umfassenden Bedeutung.

Jetzt sollte eigentlich angegeben werden, was die letzte Ursache der magnetischen Anziehung und Abstoßung sei. Aber wir ziehen hier, wie beim Lichte und bei der Wärme, vor, auf keine weiteren Vermuthungen einzugehen. Wie wir einen Licht- und Wärmeäther nicht als erwiesen betrachteten, so lassen wir auch am besten dahingestellt, ob es eine unwägbare magnetische Flüssigkeit gibt, welche in den entgegengesetzten Polen verschiedene Eigenschaften besitzt. Wir werden die Natur des Magnetismus besser aufklären, wenn wir ihn zum Schlusse noch mit den übrigen Kräften und Erscheinungen zusammenhalten, von welchen bisher gehandelt worden ist.

Mit der Cohäsion steht der Magnetismus in keinem so innigen Zusammenhang, wie die Wärme; er wird nicht durch einfache Cohäsionsveränderungen hervorgerufen. Aber auf der andern Seite sprechen doch mehrere Erfahrungen dafür, daß mit einer Veränderung des magnetischen Zustandes auch eine Cohäsionsveränderung gleichen Schritt geht. Das Magnetisiren stählerner Nadeln gelingt viel leichter, wenn man den Magnet fest an die Nadel andrückt; die Vertheilung des Magnetismus wird also durch Zusammendrücken befördert. Dann haben neue Untersuchungen gezeigt, daß Stäbe von weichem Eisen im Augenblicke des Magnetisirens ihre Form verändern, sich verlängern; ihr Rauminhalt bleibt derselbe, aber ihr Län-

Digitized by Google

gendurchmesser wird vergrößert, ihr Dickedurchmesser verkleinert. Wenn die magnetische Vertheilung in den Stäben aufhört, so scheinen sie nur sehr langsam zu ihrer vorherigen Länge zurückzukehren. Diese Beobachtung steht bis jetzt noch vereinzelt da; sie spricht aber sehr dafür, daß im Augenblicke des Magnetisirens die kleinsten Theilchen der eisernen Stäbe eine neue Anordnung, eine veränderte gegenseitige Lage erhalten. Diese unbedeutende, aber rasch eintretende Erschütterung erklärt es, warum Eisenstäbe ertönen, wenn ihre magnetische Kraft eine rasche Vertheilung erleidet.

Wie das Magnetisiren den innern Zusammenhang der Körper verändert und Töne erzeugt, so scheint durch abwechselndes Magnetisiren und Entmagnetisiren auch Wärme zu entstehen. Aber eine ganz andre Frage ist es, wie Wärme auf den Magnetismus einwirke. Es muß bis jetzt bezweifelt werden, ob Wärmestrahlen im Stande sind, Stahlnadeln zu magnetisiren; im Gegentheil wird die magnetische Kraft mit Abnahme der Temperatur erhöht, mit ihrer Zunahme vermindert; in sehr hohen Hitzegraden verliert der Magnet seine ganze Kraft und läßt sich auch nach dem Erkalten schwer wieder in seiner früheren Stärke herstellen. Ebenso zweifelhaft bleibt bis jetzt noch das Verhältniß von Magnetismus und Licht. Sicher ist nur, daß der Lichtstrahl durch die Einwirkung starker Magnete von seiner geraden Bahn abgelenkt wird. Aber nach einigen Beobachtungen scheinen überdieß die violetten Strahlen des Sonnenlichtes eine Stahlnadel zu magnetisiren, wenn sie die eine Hälfte derselben treffen; an der letztern Hälfte würde der Nordpol der Nadel entstehen.

Diese wenigen Winke beweisen, wie gering der Zusammenhang des Magnetismus mit Cohäsion, Schall, Licht und Wärme ist. Aber zu unserem Körper scheint der Magnet in durchaus keiner Beziehung zu stehen. Die Verschiedenheiten der Cohäsion und Schwere kommen bei der Anordnung und dem Bau unserer Organe überall in Betracht; unser Ohr und

Digitized by Google

unser Auge leiten Schall und Licht; durch den Stoffwechsel, der in unserem Körper vor sich geht, wird Wärme erzeugt. Nur für magnetische Vorgänge hat sich bis jetzt nirgends im menschlichen, im thierischen oder pflanzlichen Körper eine Stelle auffinden lassen; kein organischer Theil zieht Eisen an oder wird selbst vom Magnete angezogen. Ferner empfinden wir die Bewegungen der Außendinge durch unsere Tastnerven; wir erhalten Eindrücke von Schall, Licht und Wärme durch unsre Gehör-, Seh- und Hautnerven; aber wo wäre das Organ oder der Nerv, durch welche wir Kenntniß von der Anwesenheit magnetischer Körper, von der Nähe des Nordpols oder Südpols eines Magnets erhielten? Daher fehlt dem Magnetismus auch jene tiefgehende Einwirkung auf unser Bewußtsein, welche dem Schall, dem Licht und der Wärme zukommt. Wir werden durch Töne und Geräusche bewegt und erschüttert, durch Licht und Farben mannigfaltig angeregt, durch die Grade der Wärme in unserer körperlichen Existenz und in unserer geistigen Beschäftigung gehemmt oder gefördert. Aber von einer Einwirkung magnetischer Kräfte auf unsern Körper sind nur in Krankheiten einzelne spärliche Andeutungen bemerkt worden; auf unsere Sinnesorgane, auf die Energie unseres Geistes, auf die Stimmung unserer Gefühle, auf die Richtung unserer Thätigkeit übt die magnetische Kraft der Erde oder einzelner Magnete keinen merklichen Einfluß aus. Wir betrachten die Magnetnadel fast noch mit demselben Erstaunen wie der ältere Plinius, als er das Eisen von dem Magnetstein aus der Ferne angezogen und so jenen festen Körper von einer unbekannten, immateriellen Ursache bewegt sah. Aber wir kennen die Gesetze des Magnetismus genau; und wenn uns auch seine Erscheinungen wegen der Unbekanntschaft mit ihrer Ursache wunderbar bleiben, so werden sie doch durch die verwandten Phänomene der Elektricität mannigfach erläutert und aufgeklärt. Magnetismus und Elektricität sind unter einander innig verkettet; eines kann erst mit dem andern richtig verstanden werden.

Digitized by Google

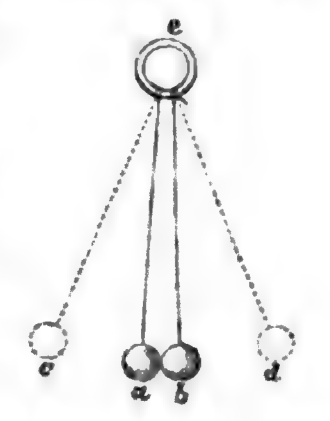
8) **Elektricität.** Eine Glasstange übt, wenn man sie leichten Körpern nähert, auf diese unter gewöhnlichen Umständen keine Anziehung aus. Aber wenn die Glasstange an wollenen Stoffen gerieben worden ist, so zieht sie nachher kleine Papierschnipsel und andere leichte Körper an. Wir untersuchen diesen Vorgang an dem Hollunderkügelchen a, welches an dem seidenen Faden d aufgehängt ist; es nähert sich dem geriebenen Glasstabe e bis zur völligen Berührung in b. Ist aber das Kügelchen kurze Zeit mit dem Glasstabe in Berührung gewesen, so entfernt es sich von ihm wieder, und jetzt wirkt der Glasstab gerade in umgekehrter Weise; er stößt das Kügelchen ab nach c. Dieser höchst einfache Versuch hat seinen Grund in der Elektricität; er zeigt ihre Erregung durch Reiben, ihre Anziehungs- und Abstoßungskraft. Aber sein völliges Verständniß erfordert noch weitere Erörterungen.

Dem geriebenen Glase ist eine geriebene Siegellackstange sehr ähnlich; sie wirkt auf das Hollunderkügelchen ebenfalls zuerst anziehend und dann abstoßend. Untersuchen wir aber mit der Siegellackstange kein unverändertes Kügelchen, sondern ein solches, das von geriebenem Glas abgestoßen wird, so wird dieses Kügelchen von geriebenem Siegellack sehr stark angezogen; und umgekehrt wirkt geriebenes Glas anziehend auf ein anderes, von Siegellack abgestoßenes Kügelchen ein. Glas und Siegellack verhalten sich also hier entgegengesetzt; das Kügelchen, welches von dem einen abgestoßen wird, wird von dem andern angezogen. Wenn wir die Elektricität als Grund dieser Erscheinungen annehmen, so läßt sich nichts anderes denken, als die Reibung errege im Glase nicht dieselbe Elektricität, wie im Siegellack. Man unterschied aus diesem Grunde zwei Elektricitäten und nannte sie nach dem einfachen, so eben beschriebenen Versuche und wegen des im Siegellack enthaltenen

Digitized by Google

und ebenso wirkenden Harzes die Glas- und die Harzelektricität; gewöhnlicher werden sie jetzt als positive und negative, + und — Elektricität bezeichnet.

Nun fragt es sich zuerst, wie Körper, welche dieselbe Elektricität haben, auf einander wirken, ob sie sich gleichgültig gegen einander verhalten, ob sie sich anziehen oder abstoßen. Theilen wir den beiden Hollunderkügelchen a und b, welche durch feine Dräthe an dem Metallringe e befestigt sind, durch den letzteren die gleiche Elektricität, z. B. positive oder Glaselektricität mit; so werden diese Kügelchen sich von einander nach c und d entfernen. Körper stoßen sich also ab, wenn sie die gleiche Elektricität besitzen. Und jetzt ist es erst möglich, den ersten Versuch weiter zu erklären. Der Glasstab oder die Siegellackstange stoßen das Hollunderkügelchen ab, sobald sie diesem ihre eigene, positive oder negative Elektricität mitgetheilt haben. Auf der andern Seite ziehen sich Körper von entgegengesetzter Elektricität an; Siegellack wirkt anziehend auf das Hollunderkügelchen, sobald dieses Glaselektricität angenommen hat; und ebenso wird das mit Harzelektricität gesättigte Hollunderkügelchen von geriebenem Glase angezogen.



Wir erkennen in der Elektricität eine Kraft, welche in ihren Grundgesetzen mit dem Magnetismus übereinstimmt. Wie in dem letztern Nordpol und Südpol sich gegenüberstehen, so verhalten sich dort positive und negative Elektricität. Auch die elektrische Kraft wirkt bald anziehend, bald abstoßend; und zwar ziehen sich die ungleichartigen Elektricitäten an, die gleichartigen stoßen sich ab. Die Stärke der Anziehung und Abstoßung nimmt hier, wie beim Magnetismus, im Verhältnisse des Quadrates der Entfernung ab.

Bei der magnetischen Kraft sprachen wir nicht näher von den Gesetzen ihrer Leitung, wie wir dieses bei Licht, Schall und

Digitized by Google

Wärme gethan hatten. Denn der Magnetismus verhält sich hierin beinahe wie die Schwere; seine anziehende oder abstoßende Wirkung geht fast durch alle Körper gleichmäßig durch, ohne eine andere Schwächung zu erfahren als diejenige, welche in der Entfernung von der Quelle der magnetischen Kraft begründet ist. Aber bei der Elektricität erhalten die Gesetze der Leitung eine sehr hohe Wichtigkeit; sowohl die positive als die negative Elektricität werden von verschiedenen Körpern mit sehr verschiedener Leichtigkeit fortgeleitet. Die besten Leiter oder Conduktoren sind die Metalle; dann folgen Holzkohle, Wasser und Wasserdünste, thierische und pflanzliche Körper. Halbleiter sind manche Gesteine, wie Marmor u. s. w. Endlich verhalten sich als Nichtleiter oder wenigstens als sehr schlechte Leiter Glas, Harz, Siegellack, Seide, Federn, trockene atmosphärische Luft. Die Leitungsfähigkeit ist bei allen diesen Körpern für beide Elektricitäten völlig gleich.

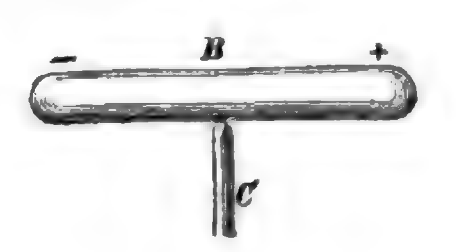
Wenn wir also durch Reiben einer Glasstange positive Elektricität erregt haben, so theilen wir diese mit Leichtigkeit einem Hollunderkügelchen oder einem Metallcylinder mit, die wir mit der Glasstange in Berührung bringen. Wir führen die Elektricität ohne Schwierigkeit durch längere Metalldräthe oder durch eine ganze Reihe von Menschen hindurch, welche sich mit den Händen anfassen. Aber in andern Fällen suchen wir die erregte Elektricität zusammenzuhalten, und wir stellen dann die Metallcylinder, von welchen sie aufgenommen worden ist, auf gläserne Füße; wir umgeben die leitenden Metalldräthe mit Harz oder Seide; wir bringen unsere Instrumente in eine möglichst trockene Atmosphäre. Wenn wir auf diese Weise einen Körper, welcher seine Elektricität nicht verlieren soll, mit Nichtleitern umgeben, so nennen wir ihn isolirt, die Nichtleiter Isolatoren. Indeß ist eine vollständige Isolirung der Körper kaum möglich, da überall Gase Zutritt haben und diese von wäßrigen Dünsten nie völlig zu befreien sind; die Elektricität

Digitized by Google

entfernt sich daher allmählig von allen, noch so gut isolirten Instrumenten.

Unter den Werkzeugen, welche wir zu Versuchen über Elektricität benützen, nimmt die Elektrisirmaschine eine der ersten Stellen ein. Wir haben diese hier nicht speciell zu beschreiben; aber wir erwähnen, daß in jener Maschine ein Glascylinder oder eine Glasscheibe an einem mit Leder überzogenen Roßhaarkissen gerieben wird; das Glas erhält hiedurch positive, das Reibzeug negative Elektricität, und beide Elektricitäten können durch metallische Conduktoren aufgefangen und weitergeleitet werden. Wo man Elektricität durch Reibung in größerer Menge erregen will, benützt man hiezu die Elektrisirmaschine; und es wird sich im weiteren Verlaufe unserer Untersuchungen wiederholt Gelegenheit darbieten, auf ihre Anwendung zurückzukommen.

Durch die Leitung verliert der elektrische Körper schneller oder langsamer seine Elektricität; wenn man einen isolirten Conduktor mit der Hand anfaßt, so geht seine Elektricität sogleich in den menschlichen Körper durch Leitung über. Diese Art des Ueberganges ist völlig verschieden von jener Mittheilung anziehender und abstoßender Kräfte, welche wir beim Magnete beobachteten. Ein Magnet wird nicht schwächer, sondern kräftiger, wenn er in weichem Eisen eine vorübergehende, in Stahl eine dauernde Scheidung der magnetischen Pole bewirkt. Es ist daher die Frage sehr natürlich, ob ein elektrischer Körper nicht gleichfalls in andern Körpern Elektricität erregen könne, ohne etwas von seiner eigenen Elektricität zu verlieren. Diese Wirkung findet in der That statt; man nennt sie, wie beim Magnetismus, die Vertheilung.



Wenn man in die Nähe des metallenen Conduktors A einer Elektrisirmaschine, welcher mit

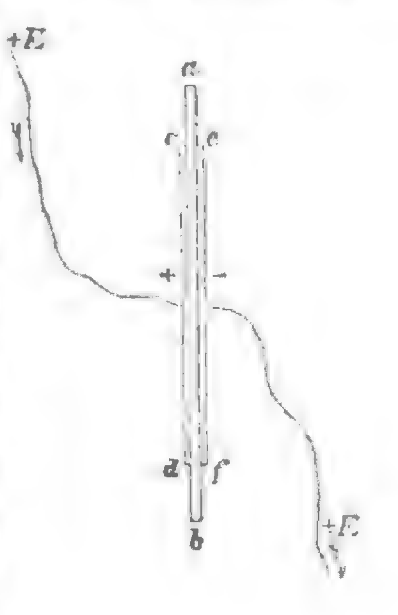
positiver Elektricität geladen ist, einen andern Conduktor **B** bringt, der von dem isolirenden gläsernen Stabe **C** getragen wird, so geht von **A** auf **B** keine Elektricität über; denn beide sind von einander durch eine isolirende Schichte von trockener Luft getrennt. Aber **A** wirkt durch die Luftschichte hindurch elektrisch auf **B** ein. Wie wir uns im weichen Eisen die beiden polaren Gegensätze des Magnetismus ungeschieden, in ihrer Indifferenz dachten, so nehmen wir an, daß im Conduktor **B** die beiden entgegengesetzten Elektricitäten noch verbunden und unwirksam seien. Der Magnet rief, indem er das weiche Eisen anzog, in diesem die beiden Pole hervor; und ebenso veranlaßt der Conduktor **A** in dem Conduktor **B** eine Scheidung der beiden Elektricitäten. Da der Leiter **A** positive Elektricität besitzt, so zieht er von den zwei Elektricitäten des Leiters **B** die negative an, und diese sammelt sich an dem Einen Ende von **B**; an dem andern Ende concentrirt sich die positive Elektricität. Man könnte nun leicht zu der Ansicht kommen, der Conduktor **B** werde jetzt in der Mitte einen Indifferenzpunkt haben, und mit der einen Hälfte blos negative, mit der andern blos positive Elektricität äußern. Aber diese Ansicht würde der Wahrheit nicht entsprechen. Die beiden Elektricitäten bestehen in der ganzen Länge des Conduktors noch neben einander; nur überwiegt gegen das eine Ende die negative, gegen das andre die positive Elektricität immer bedeutender; jene wird von der positiven Elektricität des nahen Conduktors angezogen, diese abgestoßen; an dem einen Ende kommt daher bei der Untersuchung blos negative, an dem andern blos positive Elektricität zum Vorschein.

Der Leiter **B** zeigt positive und negative Elektricität nur so lange, als er sich in der Nähe und unter dem Einfluß des Leiters **A** befindet. Wird er von diesem entfernt, so geht in ihm dasselbe vor, wie in dem weichen Eisen, das aus dem Wirkungskreis eines Magnets herausgenommen wird. Die Vertheilung der Elektricitäten war nur Folge gewesen von der

Digitized by Google

Nähe des positiven Leiters A; mit der Entfernung dieses Einflusses verbinden sich die Elektricitäten wieder; sie sinken in ihre vorherige Indifferenz zurück. Anders verhält es sich aber, wenn der Leiter B nicht mehr isolirt bleibt, wenn man z. B. sein positives Ende mit dem Finger berührt, so lang er sich im Wirkungskreise des Leiters A befindet. Von den zwei Elektricitäten, welche in dem Conduktor B sich von einander getrennt haben, wird die eine, nämlich die negative, durch den Leiter A angezogen und festgehalten; diese kann daher durch den leitenden Finger nicht entweichen; aber die zurückgestoßene positive Elektricität wird durch den Finger weggeleitet; es bleibt in dem Conduktor B nur noch negative Elektricität zurück. Entfernen wir jetzt erst den letztern Conduktor aus der Nähe von A, so besitzt jener nur noch negative Elektricität, und diese findet, so lange der Leiter isolirt bleibt, keine positive mehr vor, um sich mit ihr zur Indifferenz zu verbinden.

Der Leiter B ist elektrisch geworden, ohne dem Leiter A irgend welche Elektricität zu entziehen; er besaß schon zum voraus die elektrische Kraft in ihrer Ungeschiedenheit oder Indifferenz, und diese Kraft ging durch die Einwirkung des Leiters A in ihre Gegensätze auseinander. Diese elektrische Vertheilung kann nicht blos einmal vorgenommen, sondern längere Zeit fortgesetzt werden. Nehmen wir z. B. statt zweier cylindrischen Leiter zwei Blätter von dünngeschlagenem Zinn oder Stanniol, c d und e f, und trennen diese nicht durch eine Schichte trockener Luft, sondern durch die isolirende Glasplatte a b; so muß, wenn das Blatt c d von einer Elektrisirmaschine aus mit positiver Elektricität geladen, wenn das Blatt e f mit dem Erdboden oder der Hand in leitende Verbindung gebracht wird, im Blatte e f eine elektrische Vertheilung herbeigeführt und die negative Elektricität gebunden, die



positive fortgeleitet werden. Je mehr positive Elektricität auf der einen Seite zugeführt wird, desto weiter schreitet auf der andern Seite die Zerlegung der Elektricitäten und die Bindung negativer Elektricität fort. Auf diese Weise gelingt es, große Mengen von Elektricität auf den Metallplatten anzusammeln, welche sich an beiden Seiten des isolirenden Glases befinden; auf diesem Principe beruht die Einrichtung der leidener Flasche.

Man unterscheidet gewöhnlich die positive und negative Elektricität als zwei unwägbare Flüssigkeiten von entgegengesetzten Eigenschaften; aber wir nehmen vielleicht besser für die elektrischen Erscheinungen ebenso, wie für die magnetischen, eine Kraft an, welche in zwei verschiedenen Richtungen oder Formen wirkt. Sie äußert sich im Allgemeinen durch Anziehung; aber je nachdem sie in der einen oder andern Richtung in Wirksamkeit tritt, wird einer und derselbe Körper bald angezogen bald abgestoßen. Körper, in welchen die Elektricität dieselbe Richtung hat, stoßen sich ab; Körper von verschiedener Elektricität ziehen sich an. Anziehung oder Abstoßung sind aber nur dann möglich, wenn die Eine elektrische Kraft in ihre entgegengesetzten Formen durch die elektrische Vertheilung geschieden worden ist; vor dieser Scheidung oder nach ihrem Aufhören ist die Elektricität zwar in den Körpern vorhanden, aber indifferent, unwirksam, gleich Null. Bis hieher stimmen Magnetismus und Elektricität in Bezug auf die Gesetze ihrer Wirkung ganz mit einander überein. Aber ein sehr wichtiger Unterschied wird dadurch hervorgebracht, daß die entgegengesetzten magnetischen Pole niemals, die entgegengesetzten Elektricitäten aber sehr wohl ohne einander bestehen können. Zerbricht man eine Magnetnadel, so erhält jedes Stück wieder Indifferenzpunkt, Nord- und Südpol; aber im obigen Versuche behielt der isolirte Conduktor B nur negative Elektricität zurück. Damit hängt nun die Leitung der Elektricität zusammen; sowohl positive als negative Elektricität werden in den Leitern für sich weiter geführt; beim Magnetismus ist dieses nicht möglich, da jede seiner zwei

Digitized by Google

Thätigkeitsformen durchaus an die andre gebunden ist. Daher erfolgt die Mittheilung der magnetischen Kraft nur durch Vertheilung, die Mittheilung der elektrischen Wirksamkeit durch Vertheilung und Leitung.

Die magnetische Kraft durchdringt die ganze Masse des Magnets; jedes einzelne Stück, mag es von der Oberfläche oder aus der Mitte genommen sein, läßt an sich die beiden Pole erkennen. Aber die elektrische Kraft äußert sich nur an der Oberfläche der Körper; das Innere einer metallenen, positiv oder negativ elektrischen Kugel zeigt durchaus keine Elektricität. Daher kommt es auch, daß auf die Art und die Menge der Elektricität weniger die innere Natur, als die Oberfläche der Körper Einfluß übt. Hat der elektrische Körper die Form einer Kugel, so verbreitet sich die Elektricität gleichmäßig über seine Oberfläche; aber jede Hervorragung bringt eine Ungleichförmigkeit in der Verbreitung hervor. Die größte Masse von Elektricität sammelt sich an denjenigen Punkten, welche von dem Mittelpunkte des Körpers am weitesten entfernt und zugleich am dünnsten sind; so hat die Elektricität die größte Dichtigkeit an den Enden metallener Cylinder, insbesondere aber an metallenen Spitzen. Und wo die Elektricität am dichtesten ist, da strömt sie auch am leichtesten aus; die elektrische Leitung geschieht daher am besten durch Spitzen, schwerer durch Kugeln, am schwersten durch ebene Flächen.

Die elektrische Kraft ist in ihren Aeußerungen von der innern Beschaffenheit der einzelnen Körper viel weniger abhängig als der Magnetismus. Sie ist daher schon seit längerer Zeit als eine allgemeine, der Materie überhaupt zukommende Kraft erkannt worden; sie wird in jedem Körper wirksam, wenn es gelingt, sie in ihre beiden Formen, die positive und die negative zu zerlegen. Unter den Methoden, durch welche Körper elektrisch gemacht werden können, wurde bis jetzt nur die Reibung erwähnt. Wir müssen auf diese noch einmal zurückkommen und an sie die übrigen Methoden des Elektrisirens anschließen;

es wird jetzt erst möglich sein, die Entstehung der positiven und negativen Reibungselektricität gehörig zu erläutern.

Wenn eine Glasstange an wollenem Zeuge, z. B. an Tuch gerieben wird, so entsteht nicht in der Glasstange ohne weiteres positive Elektricität; sondern sowohl in der Glasstange, als in dem wollenen Tuche findet in Folge der Reibung eine elektrische Vertheilung statt, und es sammelt sich zugleich positive Elektricität in der Glasstange und negative in dem Tuche an. Reibt man hingegen an dem Tuch eine Stange Siegellack, so wird die letztere elektronegativ und das Tuch bekommt positive Elektricität. Das wollene Tuch verhält sich also verschieden zu Glas und Siegellack; es wird durch Reibung mit jenem negativ, mit diesem positiv. Und auf dieselbe Weise verhalten sich alle Körper, wenn in ihnen durch Reibung Elektricität erregt wird; es läßt sich von keinem einzigen für alle Fälle bestimmen, ob er positiv oder negativ sein werde; je nachdem er mit diesem oder jenem Körper gerieben wird, nimmt er positive oder negative Elektricität an. So bekommt Glas allerdings positive Elektricität, wenn man es mit Wolle reibt; aber mit Katzenfell gerieben, wird es negativ. So verhält sich Siegellack zu Wolle elektronegativ, aber zu Bernstein oder Colophonium elektropositiv. Wenn es hienach unmöglich ist, für irgend einen Körper die Elektricität anzugeben, welche er durch Reibung unter allen Umständen erhalten werde, so bleibt doch der elektrische Gegensatz von zwei Körpern, z. B. von polirtem Glas und wollenem Tuch, bestimmt und unveränderlich. Es gelingt daher, in Bezug auf die Erregung positiver oder negativer Elektricität durch Reiben eine gewisse Ordnung der Körper aufzufinden, in der Weise, daß die einen Körper sich überwiegend elektropositiv, die andern sich überwiegend elektronegativ zu den übrigen verhalten. Hieraus entsteht folgende Reihe:

+ Katzenfell, Diamant, Glas, Wolle, Papier, Seide, Siegellack, Colophonium, Bernstein, Schwefel —

Das heißt: Katzenfell wird mit allen folgenden Stoffen posi-

tiv, Schwefel mit allen vorhergehenden negativ; Wolle verhält sich negativ zu den vorhergehenden, positiv zu den folgenden. Gegen das eine Ende hin, an welchem Katzenfell steht, überwiegt das positive, gegen das Schwefelende hin das negative Verhalten der Körper.

Es mag dieses genügen um anschaulich zu machen, wie die elektrischen Gegensätze, welche in den Körpern durch Reibung entstehen, keine absoluten, sondern durchaus nur beziehungsweise sind. Aber diese Thatsache ist noch viel einleuchtender, wenn eine andere Art der Erzeugung von Elektricität, die Elektricität durch Berührung oder Contakt, der sogenannte Galvanismus, ins Auge gefaßt wird.

Durch Reibung können alle Körper elektrisch werden; aber insbesondre passen hiezu die Nichtleiter, wie Glas, Wolle, Seide, Siegellack. Die Elektricität, welche in leitenden Körpern, z. B. in Metallen, durch Reibung entsteht, entweicht sogleich, wenn die Leiter nicht isolirt, z. B. mit Handgriffen von Glas oder Siegellack versehen werden. Ganz im Gegentheile dienen die elektrischen Leiter aufs beste zur Erzeugung der Berührungselektricität.

Legt man bei dem Fundamentalversuche von Volta zwei kreisförmige, glatte Scheiben von Zink und Kupfer, a und b, auf einander, so wird in ihnen durch die bloße Berührung Elektricität erregt, und zwar erhält das Zink positive, das Kupfer negative Elektricität. Trennt man die beiden Platten, indem man sie an ihren isolirenden gläsernen Handgriffen c und d faßt, so zeigt jede die ihr eigenthümliche Art der Elektricität an. Man denkt sich, um diese Erscheinung zu erklären, eine elektromotorische Kraft, welche von den Berührungsflächen der ungleichartigen Metalle aus nach beiden Seiten hin die elektrische Vertheilung hervorbringt. Sowohl in der Kupferplatte als in der Zinkplatte treten die Gegensätze der positiven und negativen

Digitized by Google

Elektricität hervor. Beide Elektricitäten bleiben aber nicht in jedem der zwei Metalle beisammen, sondern die positive des Kupfers geht zum Zink, die negative des Zinks zum Kupfer hinüber, und so kommt es endlich, daß alle positive Elektricität, welche erregt wurde, an der Oberfläche des Zinks, alle negative an der Oberfläche des Kupfers sich sammelt. Die elektromotorische Kraft, welche diese Zerlegung der Elektricität bewirkt hat, verhindert jetzt auch trotz der unmittelbaren Berührung der Metalle die entgegengesetzten Elektricitäten des Zinks und Kupfers, sich wieder zur Indifferenz auszugleichen; sie verhält sich hierin wie eine trennende und isolirende Schichte von Glas oder trockener Luft.

Es kann gar kein Zweifel darüber obwalten, daß Zink und Kupfer durch alleinige gegenseitige Berührung elektrisch werden; von Reibung oder einer andern Ursache ist hier durchaus nicht die Rede. Und wie diese zwei Metalle, so verhalten sich gegen einander alle Metalle, überhaupt alle festen elektrischen Leiter; bei ihrer Berührung wird Elektricität erregt, und die positive sammelt sich auf dem einen, die negative auf dem andern Körper. Ein und derselbe Körper nimmt in Berührung mit einem bestimmten andern immer dieselbe Art von Elektricität an; aber mit verschiedenen Körpern wird er bald positiv bald negativ. So verhält sich Kupfer zwar negativ zu Zink, aber positiv zu Silber und Platina; überhaupt gelten in dieser Beziehung für die Contaktelektricität dieselben Regeln, welche früher für die Reibungselektricität angeführt wurden. Auch hier gibt es Körper, welche in der Mehrzahl der Fälle positiv, und andere, welche öfter negativ elektrisch werden. Diese Verhältnisse werden durch die folgende Reihe ausgedrückt:

+ Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platina, Kohle —

Je weiter die einzelnen Körper in dieser Reihe auseinanderliegen, desto größer ist ihr elektrischer Unterschied, desto

Digitized by Google

stärker beim Contakt ihre Spannung. Zink wird mit Platina viel stärker positiv elektrisch als mit Kupfer.

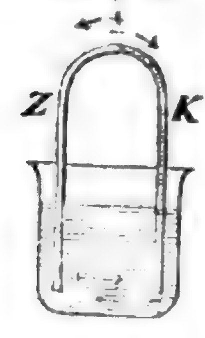
Wir haben die Erregung der elektrischen Kraft durch Reibung und durch Berührung erörtert. Der wesentliche Vorgang ist in beiden Fällen derselbe: die natürliche, indifferente Elektricität der Körper wird in ihre beiden Gegensätze zerlegt, und die eine oder positive Form der Elektricität wird dem einen, die negative Form dem andern der sich berührenden oder an einander geriebenen Körper zu Theil. In beiden Fällen ist das Verhalten der Körper zu den entgegengesetzten Elektricitäten kein absolutes, sondern ein durchaus relatives. Aber die Reibungselektricität ist bei allen Körpern möglich; durch Berührung werden blos leitende Körper elektrisch. Endlich kommt bei der Reibung besonders die Oberfläche der Körper in Betracht; bei der Berührung bestimmt mehr die Substanz der Körper ihr elektrisches Verhalten.

Jetzt bleibt noch ein wichtiger Punkt zu erörtern übrig. Wir denken uns die elektrische Kraft in ihre zwei entgegengesetzten Richtungen zerlegt; die elektrische Indifferenz wird dadurch wieder hergestellt, daß beide Elektricitäten sich wieder mit einander verbinden. Es ist nothwendig, das Verhalten derjenigen leitenden Körper zu betrachten, durch welche die Verbindung und Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten bewerkstelligt wird.

Wir kehren wieder zu der Glastafel a b zurück, welche auf beiden Seiten mit den Stanniolblättern c d und e f bedeckt ist. Das erstere Blatt sei durch Zuleitung von einer Elektrisirmaschine her mit positiver Elektricität, das letztere durch Vertheilung mit negativer Elektricität geladen. So werde durch den metallenen Bogen g eine leitende Verbindung zwischen beiden Stanniolblättern hergestellt. Mit dem Schlusse dieser Verbindung erfolgt die Aus-

gleichung der entgegengesetzten Elektricitäten, und zwar nicht blos in Einem Punkte, sondern über die ganze Ausdehnung des Bogens g und der Stanniolblätter c d und e f. Von c d geht positive Elektricität zu e f, von e f negative zu c d durch den Bogen hinüber; es entstehen also in diesem Bogen zwei Strömungen von entgegengesetzter Richtung und entgegengesetzten Elektricitäten, eine positive von c d und eine negative von e f aus. Diese Ströme hören mit der Schließung des Bogens sogleich auf; denn in demselben Momente findet sogleich die völlige Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten statt, und weder auf c d noch auf e f sammelt sich nachher eine neue Quantität positiver oder negativer Elektricität an.

Nehmen wir aber statt der zwei Stanniolblätter, welche durch die Glasscheibe von einander getrennt und mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind, zwei Metallplatten, die eine von Kupfer, die andere von Zink, welche sich unmittelbar berühren und durch die elektromotorische Kraft negative und positive Elektricität erhalten haben, und verbinden wir beide durch einen leitenden Bogen, so wird hier gleichfalls eine Ausgleichung der zwei Elektricitäten im Momente der Schließung stattfinden; aber auch nach dieser Ausgleichung dauert die Zerlegung der Elektricitäten durch die elektromotorische Kraft fort. Immer geht noch positive Elektricität vom Kupfer zum Zink, negative vom Zink zum Kupfer hinüber, und mit der elektrischen Erregung halten auch die Ströme in dem verbindenden Bogen an; es kehrt in diesem fortwährend die positive Elektricität zum Kupfer, die negative zum Zink zurück. Um diesen Vorgang deutlich zu machen, wählen wir statt des metallenen Bogens

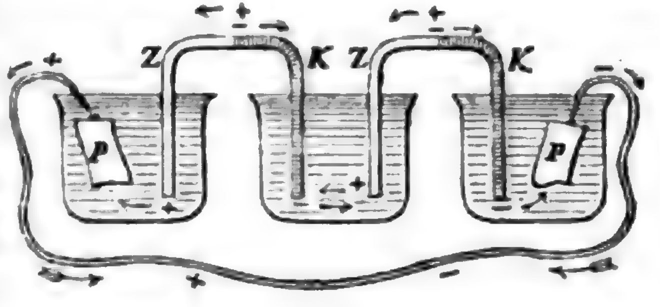


einen tropfbarflüssigen Leiter; wir stellen Kupfer und Zink, K und Z, welche an dem einen Ende sich berühren, mit den freien Enden in ein Gefäß mit Wasser. In jedem Augenblicke findet durch das Wasser Ausgleichung, durch die Metalle neue Erregung der Elektricitäten statt; es ist klar, daß

Digitized by Google

ein positiver und ein negativer Strom ununterbrochen Metalle und Wasser in entgegengesetzter Richtung durchlaufen. Man ist übereingekommen, den Strom der positiven Elektricität im engern Sinn als galvanischen Strom zu bezeichnen; dieser geht also in der Berührungsstelle der Metalle vom Kupfer zum Zink, in der leitenden Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer hinüber.

Der Galvanismus bietet uns Gelegenheit dar, die Elektricität in dauernder Bewegung zu beobachten. Er bekommt auf diese Weise eine Wichtigkeit, welche durch jede weitere Forschung wieder in ein neues Licht gestellt wird. Wir erwähnen hier nur kurz die galvanischen Apparate, durch welche größere Mengen von Elektricität erregt und in Bewegung gesetzt werden können. Statt eines einzigen Plattenpaares von Kupfer und Zink nehmen wir zwei in gleicher Stellung; wir verbinden sie in der Mitte durch einen flüssigen Leiter, und erhalten so eine Kette, deren elektrische Spannung an beiden Enden doppelt so groß ist, als bei einem einfachen Paare. Stellen wir durch Platindräthe (P) eine Verbindung dieser Enden oder Pole her, so wird vom Zinkpol ein dauernder positiver, vom Kupferpol ein dauernder negativer Strom durch den verbindenden Drath gehen. Wir steigern natürlich die Wirksamkeit durch Vermehrung der Plattenpaare. Die voltaische Säule ist die erste Form dieser galvanischen Vorrichtung gewesen. Wir werden wiederholte Gelegenheit haben, die Anwendung solcher Apparate sowohl in der Physik und Chemie, als in der Wissenschaft der organischen Körper zu besprechen.



Zum Schlusse haben wir noch die Schnelligkeit anzuführen, mit welcher sich die Elektricität fortbewegt. Der Schall legt in der Sekunde durch die Luft 1022½ Fuß zurück; das Sonnen-

Digitized by Google

licht durchläuft in der Sekunde 42,000 Meilen; die Geschwindigkeit der Elektricität beträgt noch mehr, nämlich 62,500 Meilen in der Sekunde.

Jetzt ist es uns erst gestattet, das Verhältniß zu besprechen, in welchem die Elektricität zur Cohäsion der Körper, zu Schall, Licht, Wärme und Magnetismus steht. Je ärmer diese Beziehungen beim Magnetismus waren, desto reicher und mannigfaltiger werden sie für die Elektricität; und wir bemerken zum voraus, daß die Reibungselektricität hierin durchaus nicht wesentlich von der galvanischen Elektricität verschieden ist.

Unter allen Einflüssen, welche in den Körpern Elektricität erregen, gestattet die blose Berührung kaum, an eine Veränderung der Cohäsion, des innern Zusammenhaltes der Körper zu denken. Dagegen spielt bei der Reibung nicht nur die innigste Berührung, sondern sicher auch der gegenseitige Druck eine bedeutende Rolle; und der letztere bewirkt ja im Allgemeinen eine Vermehrung der Cohäsion. Druck ist indessen auch für sich allein im Stande, Elektricität in den Körpern hervorzurufen; diese verhalten sich hierin, wie bei der Reibung: von den zusammengedrückten Körpern wird der eine positiv, der andre negativ. Bei Druck und Reibung ist die Oberfläche besonders wichtig; wenn man Stücke derselben Substanz, von welchen das eine rauh, das andere glatt ist, zusammen drückt oder reibt, so wird immer das rauhe Stück negative Elektricität annehmen. Druck und Reibung lassen sich zur Erregung von Elektricität besser bei Nichtleitern, als bei Leitern anwenden. In dieser Hinsicht gleicht die Elektricität dem Magnetismus; Reiben und Druck unterstützen beidemale die Aufhebung des natürlichen, indifferenten Zustandes. Aber von Formenveränderungen, welche an Eisen im Momente des Magnetisirens beobachtet wurden, ist bei der Elektricitätserregung nichts gesehen worden. Ebensowenig verändert die Elektricität die Cohäsionszustände und die Dichtigkeit der Körper.

Die Schwingungen des Schalls und des Lichtes scheinen

Digitized by Google

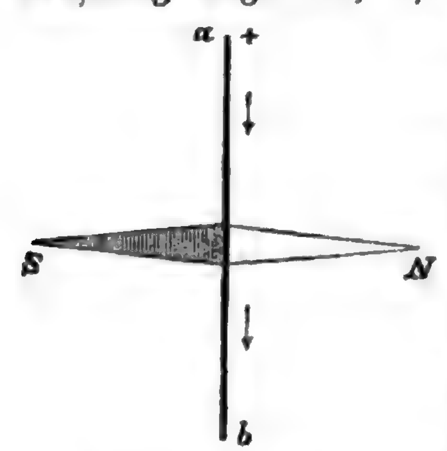
nicht im Stande zu sein, Elektricität zu erwecken. Aber umgekehrt wird durch die elektrischen Kräfte sowohl Schall als Licht erzeugt. Wenn die entgegengesetzten Elektricitäten zusammentreffen, so entsteht dadurch ein eigenthümliches Geräusch, und dieses ist um so stärker, je mehr die zwei elektrischen Körper durch isolirende Substanzen, z. B. durch Luft von einander getrennt sind. Viel wichtiger ist aber das Licht, der elektrische Funken, welcher beim Zusammentreffen entgegengesetzter Elektricitäten sichtbar wird. Das elektrische Licht ist von weißer Farbe; seine Stärke wächst mit der elektrischen Spannung; es zeigt sich auch im luftleeren Raume, und man muß daher annehmen, daß der leere Raum die Wirkungen der Elektricität so wenig als die des Lichtes ausschließt. Das großartigste Beispiel des elektrischen Funkens bietet der Blitz dar; vielleicht ist die Phosphorescenz, welche manche Körper beim Reiben oder Spalten zeigen, nichts anderes als ein schwaches elektrisches Leuchten. In neuerer Zeit sind, namentlich in Frankreich, Versuche gemacht worden, das elektrische Licht auch zur Beleuchtung zu benützen.

Die Beziehungen der Elektricität zur Wärme sind wechselseitig. Ein Draht, durch welchen Elektricität geleitet wird, erwärmt sich, und zwar um so mehr, je stärkeren Widerstand er dem Durchgang der Elektricität entgegensetzt, d. h. je dünner er ist; feine Dräthe kommen hiebei sogleich ins Glühen. Auf der andern Seite äußert die Wärme auf die Erregung der Elektricität einen bedeutenden Einfluß. Reibt man zwei Stücke von der gleichen Substanz, z. B. zwei seidene Bänder an einander, so nimmt immer dasjenige Stück negative Elektricität an, welches sich beim Reiben stärker erwärmt; die stärkere Erwärmung ist wahrscheinlich der Grund, warum Stücke mit rauher Oberfläche durch Reiben negativ elektrisch werden. Aber auch für sich allein vermag Wärme Elektricität, und zwar elektrische Ströme zu erzeugen. Löthet man zwei Metallstäbe so zusammen, daß sie einen geschlossenen Kreis bilden, so entsteht

Digitized by Google

ein elektrischer Strom, sobald die eine Löthstelle eine höhere oder niedrigere Temperatur bekommt, als die andere; der positive Strom geht hiebei von der wärmeren Stelle zur kälteren hinüber. Dieses Wenige mag genügen, um die Erregung der Elektricität durch Wärme, die Thermoelektricität deutlich zu machen.

Es bleibt jetzt noch die innigste Verwandtschaft zu erörtern übrig, die Verwandtschaft zwischen Elektricität und Magnetismus; sie bildet in der Physik das reichhaltige Kapitel vom Elektromagnetismus. Läßt man einen dauernden elektrischen Strom in der Nähe einer Magnetnadel vorbeigehen, so wird diese auf eigenthümliche Weise von ihrer gewöhnlichen Richtung abgelenkt; ihr Nordpol hört auf, nach Norden, ihr Südpol, nach Süden zu sehen. Man denke sich den Drath a b, welcher über der beweglichen Magnetnadel S N liegt, in der Richtung von a nach b von einem positiven elektrischen Strom durchlaufen; man stelle sich vor, daß der Beobachter in diesem Strome, den Kopf nach vorne, schwimme und sein Gesicht der unter ihm befindlichen Magnetnadel zukehre; so gilt immer die Regel, daß der Nordpol der Nadel zur linken Seite des Beobachters abweicht; die höchste Ablenkung tritt ein, wenn die Nadel senkrecht auf der Richtung des elektrischen Stromes steht. Ist im Gegentheile die magnetische Nadel befestigt, und der Drath, welcher den elektrischen Strom leitet, beweglich, so stellt sich der letztere auf die Weise ein, daß er unter einem rechten Winkel die Nadel durchschneidet, und daß wiederum der Beobachter, welcher sich im Strome der Nadel schwimmend denkt, den Nordpol zur Linken hat. Im Allgemeinen also steht die Richtung des elektrischen Stromes senkrecht auf der Linie, welche die beiden Pole der Magnetnadel verbindet.



Aber der elektrische Drath und die magnetische Nadel be-

stimmen nicht nur gegenseitig ihre Richtung; sondern der Drath, durch welchen Elektricität strömt, vermag in dem unwirksamen Eisen oder Stahl magnetische Pole zu erwecken, und umgekehrt ist der Magnet im Stande, in einem Drathe den elektrischen Strom hervorzurufen. Wir winden den Drath a b spiralförmig auf, und zwar so, daß seine Schraubenwindungen immer in derselben Richtung verlaufen. Lassen wir von a nach b einen positiven elektrischen Strom durch den Drath gehen, so hat dieser Strom in dem obern Theile der Spirale die Richtung, welche die Pfeile c, d und e anzeigen. Wird nun ein eisernes Stäbchen in die Spirale gelegt, so erregt in diesem der elektrische Strom die beiden magnetischen Pole. Nach der angegebenen Regel entsteht der Nordpol links, der Südpol rechts von dem im Strome schwimmenden Beobachter. Der Stab verliert, wenn er von weichem Eisen ist, seinen Magnetismus, sobald man ihn aus der Spirale herausnimmt; eine stählerne Nadel bleibt auch nachher noch magnetisch. Nun werde aber ein schon magnetischer Stab N S in die Mitte der Spirale a b gebracht, ohne daß ein Strom den Drath durchläuft; so wird in diesem durch die Einwirkung des Magnets ein elektrischer Strom hervorgerufen; es leuchtet ein, daß der neue Strom die Richtung der Pfeile c, d und e erhalten muß.

Magnetismus und Elektricität stehen unter einander in einem so genauen und fest bestimmten Verhältnisse, daß man sich versucht fühlt, für beide Erscheinungen eine und dieselbe Grundursache anzunehmen. In beiden wirken anziehende und abstoßende Kräfte; in beiden äußert sich die Kraft nicht gleichmäßig, sondern unter zwei verschiedenen, polar entgegengesetzten Formen; in beiden zieht sich das Ungleichnamige an und stößt sich das Gleichnamige ab. Die magnetische Kraft durchdringt aber die ganze Masse der Körper und ist in jedem einzelnen Theil-

Digitized by Google

chen derselben wirksam; die elektrische Kraft äußert sich nur an den Oberflächen der Körper. Im Magnetismus bleiben die polaren Gegensätze immer auf Einem Körper beisammen; von den beiden Elektricitäten kann jede auch ohne die andere bestehen. Daher scheint es zu rühren, daß der Magnetismus keiner eigentlichen Fortleitung fähig ist und nur durch Vertheilung sich fortpflanzt, daß hingegen die positive und negative Elektricität sich von einer Stelle zur andern bewegt, augenblicklich oder dauernd die leitenden Körper durchströmt. Außer Magnetismus und Elektricität ist nur noch die Kraft der chemischen Verwandtschaft nach polaren Gegensätzen thätig. Wir bedürfen diese noch, um die Wirkung der Polaritäten überhaupt deutlich zu machen. Aber vorher ist es nöthig, in wenigen Worten auf das Verhältniß der Elektricität zum menschlichen Körper hinzuweisen.

Magnetische Anziehung und Abstoßung ist nirgends als Aeußerung des thierischen oder pflanzlichen Lebens beobachtet worden. Aber Elektricität wird bei manchen Thieren durch eigene Apparate reichlich entwickelt. Es kann gar kein Zweifel sein, daß diejenige Elektricität, welche in den elektrischen Organen des Zitterrochens oder des Zitteraales erzeugt wird, in allen wesentlichen Eigenschaften mit der gewöhnlichen Elektricität übereinstimmt; und überdieß sind jene Organe den galvanischen Apparaten durch ihren Bau äußerst ähnlich. Unter gewissen Umständen und in gewissen Thiergruppen ist also der thierische Organismus unzweifelhaft im Stande, Elektricität auf dieselbe Weise zu erzeugen, wie der Kehlkopf die Stimme, der Athmungsproceß die Wärme der Thiere hervorbringt. Aber nach den neuesten Untersuchungen erscheint es sogar als wahrscheinlich, daß überhaupt in gewissen Theilen aller Thiere, besonders in ihren Nerven und Muskeln, durch den Lebensproceß kleine Mengen von Elektricität erregt werden. Wir müssen die nähere Auseinandersetzung dieses Punktes späteren Abschnitten vorbehalten; für jetzt sprechen wir nur die Vermuthung aus,

Digitized by Google

daß die Elektricität ein allgemeines Produkt des thierischen Lebensprocesses sei und hierin von Licht und Magnetismus auffallend abweiche.

Hingegen fehlt dem thierischen und ebenso dem menschlichen Körper jedes eigene Organ zur Aufnahme elektrischer Eindrücke. Wir empfinden Licht durch unser Auge, Schall durch unser Ohr, Wärme durch unsre Haut; aber die Elektricität werden wir in ihrer Eigenthümlichkeit ebensowenig als den Magnetismus durch eigene Apparate inne. Darum bleibt jedoch die Elektricität nicht, wie der Magnetismus, ohne alle bestimmte Eindrücke auf unser Bewußtsein; finden auch diese Eindrücke kein eigenes Organ zur Aufnahme vor, so dringen sie zu unserm Bewußtsein durch alle übrigen Sinnesorgane. Der elektrische Funken, welcher durch Zusammentreffen entgegengesetzter Elektricitäten entsteht, wirkt auf unser Auge; das elektrische Geräusch trifft unser Ohr. Unser Geruchsorgan wird durch Entbindung größerer Mengen von Elektricität auf eigenthümliche Weise afficirt. Läßt man elektrische Ströme durch unsere Zunge gehen, so werden in dieser Geschmackseindrücke hervorgerufen. Endlich bringt das Zusammentreffen der entgegengesetzten Elektricitäten in unsern Hautnerven leichtere oder stärkere Schmerzen hervor; und wo große Mengen von Elektricität auf unsere Hautoberfläche wirken, z. B. durch Blitze wird die Haut an den getroffenen Stellen verbrannt. Da nun die Aufnahme und Fortleitung der Sinneseindrücke durch Nerven geschieht, so muß natürlich angenommen werden, die Elektricität finde zwar nicht, wie Schall, Wärme oder Licht, im thierischen Körper eigene Nerven vor, welche ausdrücklich zu der Aufnahme ihrer Eindrücke bestimmt seien; aber sie vermöge die verschiedensten Nerven so zu afficiren, daß jeder in seiner Weise auf das Bewußtsein des Menschen oder der Thiere einwirke, — der eine durch Licht, der andre durch Schall, wieder andre durch Riechen oder Schmecken, durch Wärme oder Schmerz. Auf diese Weise ergibt sich eine besondere Beziehung der Elek-

Digitized by Google

tricität zu denjenigen Nerven, welche Sinneseindrücke zum Bewußtsein leiten. Aber andrerseits gelangt der Reiz, welcher unsre Muskel zur Bewegung antreibt, von unserm Gehirn bis zu den Muskeln gleichfalls durch Nerven; auch diese Muskelnerven werden durch die Elektricität leichter, als durch irgend welche andre künstliche Reize, dazu bestimmt, Bewegungen der Muskel hervorzurufen. So zeigen sich also Sinnes- und Bewegungsnerven dem elektrischen Reize besonders zugänglich.

Man ist über diesen einfachen Ausdruck der Thatsachen hinausgegangen und hat angenommen, was in den Nerven wirke, was Sinneseindrücke und Bewegungen hervorrufe, sei gar nichts Anderes als die elektrische Kraft selbst. Aber diese Annahme ist der Wahrheit keineswegs entsprechend. Wahr ist nur, daß Nervenkraft und elektrische Kraft mannigfach verwandt sind, daß die letztere sehr leicht auf die erstere wirkt; vielleicht ist auch, wie wir oben erwähnten, die Nervenkraft im Stande, elektrische Vorgänge zu erzeugen.

So wirkt denn die Elektricität auf unser Bewußtsein nicht in der Art des Lichtes, des Schalles, der Wärme als etwas Eigenthümliches gewaltig ein. Sondern sie entlehnt gleichsam ihre Eindrücke, indem sie je nach der Natur der betroffenen Nerven bald unter der einen, bald unter der andern Form empfunden wird. Wir können ihr daher auch keine unmittelbare Beziehung zu unserm Bewußtsein zuschreiben. Aber ihre Verwandtschaft mit der Kraft, welche im Nervensysteme thätig ist, mußte schon hier hervorgehoben werden; die elektrischen Vorgänge der umgebenden Natur finden in den Nervenwirkungen unseres Körpers öfters ihr Vor- oder Gegenbild. Der chemische Proceß, zu welchem wir jetzt übergehen, ist der äußeren Schöpfung und unserem eigenen Körper im vollsten Sinne gemeinsam.

9) **Chemischer Proceß.** Wie wir es in den bisherigen Erörterungen gethan haben, so knüpfen wir auch hier zunächst an die einfachsten und alltäglichsten Erfahrungen an.

Digitized by Google

Die Gesetze der Chemie, welche verwickelt und nicht ganz leicht verständlich sind, werden auf diese Weise wohl am besten klar gemacht werden.

Wenn eiserne Geräthschaften längere Zeit den Einflüssen der atmosphärischen Luft ausgesetzt waren, so verlieren sie an einzelnen Stellen oder über ihre ganze Oberfläche hin ihr vorheriges Aussehen. Das Eisen rostet; die schwärzlichgraue Eisenfarbe verwandelt sich in ein bräunliches Gelb; der Glanz, welcher die Oberfläche des Metalles ausgezeichnet hatte, weicht einem matten Ansehen; der feste Zusammenhang, die Zähigkeit des Eisens hat sich verloren, und die neugebildete bräunlichgelbe Substanz zerbröckelt und zerfällt mit größerer oder geringerer Leichtigkeit. Es ist offenbar: das Eisen hat sich in einen anderen Stoff verwandelt; es hat nicht nur äußerlich andre Eigenschaften bekommen, sondern es ist durch seine ganze Masse hindurch und in allen Beziehungen verändert worden. Nun könnte man zunächst daran denken, die Veränderung des Eisens sei vielleicht zu Stande gekommen durch den Einfluß von Licht oder Wärme, von Elektricität oder Magnetismus; es haben vielleicht jene sogenannten unwägbaren Stoffe die Kraft, durch längere Einwirkung die Eigenschaften des Eisens von Grund aus zu verändern. Aber bei näherer Betrachtung erweist sich diese Annahme als durchaus unstatthaft. Wenn wir ein kleines Stück metallisches Eisen wägen, wenn wir es nachher durch Aussetzen an die atmosphärische Luft seiner ganzen Masse nach sich verändern lassen, so finden wir, daß das Stück an Gewicht zugenommen hat. Wir sprechen hier nicht von specifischem Gewicht, sondern von dem absoluten Gewichte, welches unmittelbar durch unsere Wagen bestimmt wird. Es muß also zu dem Eisen, so lange es an der Luft lag, noch etwas Wägbares hinzugekommen sein; und der Schluß ist gewiß nicht gewagt, es sei eben die Verbindung des Eisens mit einem anderen Wägbaren die Ursache der vorgegangenen Veränderung. Was ist nun dieser wägbare Stoff? es spricht alles dafür,

Digitized by Google

daß er in der atmosphärischen Luft enthalten gewesen ist, ehe er sich mit dem Eisen verband.

Wir suchen zur Aufklärung nach weiteren Thatsachen. Phosphor leuchtet bekanntlich an der atmosphärischen Luft, er mag nun rein, oder, wie in unsern Reibzündhölzchen, mit andern Stoffen gemischt sein. Erhitzen wir aber den Phosphor, zünden wir ihn mit einem brennenden Körper an, so kommt er selbst ins Brennen und seine Flamme verbreitet ein sehr starkes Licht. Um diesen Vorgang besser untersuchen zu können, legen wir den Phosphor auf einen Porcellanteller und bedecken ihn, sobald er angezündet ist, mit einer gläsernen Glocke. Kleine Stücke Phosphor verbrennen auf diese Weise vollständig. Man findet beim Abnehmen der Glocke auf dem Teller keinen Phosphor mehr; aber die ganze Oberfläche des Tellers zeigt sich mit einem feinen, weißen, schneeähnlichen Anflug einer festen Substanz überzogen. Diese Substanz hat sich offenbar beim Brennen des Phosphors gebildet; ihr absolutes Gewicht ist bei genauer Untersuchung größer, als das Gewicht des verbrannten Phosphors. Wir denken uns daher, daß der Phosphor durch Verbindung mit einem in der Atmosphäre befindlichen wägbaren Stoffe sich umgewandelt habe, und die Annahme ist wenigstens nicht unwahrscheinlich, daß durch denselben in der Atmosphäre enthaltenen wägbaren Stoff Eisen in Rost und Phosphor in jene schneeähnliche Substanz verwandelt worden sei.

Wir rücken der Einsicht in diese Vorgänge näher, wenn wir nach dem Verbrennen des ersten Stückes Phosphor unter dieselbe Glasglocke ein zweites brennendes Stück bringen, ohne vorher die Luft in der Glasglocke erneuert zu haben. Es kommt nach kurzem Brennen ein Zeitpunkt, wo die Flamme erlischt. Dürfen wir nun annehmen, daß die Flamme eine Folge war von der Verbindung des Phosphors mit einer andern wägbaren Substanz, so sind wir auch berechtigt zu glauben, das Erlöschen der Flamme zeige an, daß die Verbindung des

Digitized by Google

Phosphors nicht mehr weiter schreitet. Offenbar ist von der wägbaren Substanz, welche sich mit dem Phosphor vereinigen konnte, unter der Glasglocke nur eine gewisse Quantität vorhanden gewesen; und als diese mit dem Phosphor verbunden war, fand der letztere keinen ferneren Grund zur Veränderung und zur Bildung einer Flamme vor. Sobald neue atmosphärische Luft unter die Glasglocke zugelassen wird, beginnt die Verbrennung des Phosphors von Neuem, weil in der atmosphärischen Luft eine neue Quantität jener wägbaren, das Verbrennen erregenden und unterhaltenden Substanz zuströmt.

Da der brennende Phosphor nicht alle Luft unter der Glasglocke verzehrt, so müssen wir schließen, der wägbare Stoff, welcher sich mit dem Phosphor verbindet, bilde nur einen Theil der Atmosphäre; es seien außer ihm noch andere oder wenigstens noch ein anderer Stoff in der atmosphärischen Luft enthalten. Wir suchen die Natur des Stoffes, welcher sich mit Eisen und Phosphor vereinigt, näher zu erforschen. Die atmosphärische Luft gehört, wie Jedermann einsieht, unter die gasförmigen Körper. Außerdem ist sie farblos, geruch- und geschmacklos. Diese Eigenschaften müssen daher auch jenem Stoffe zukommen, dessen Eigenschaften wir ergründen möchten; und wir können bis jetzt von diesem Stoffe Folgendes aussagen: Er befindet sich in einer bestimmten Menge neben anderen Substanzen in der Atmosphäre; er ist gasförmig und hat weder Farbe, noch Geschmack, noch Geruch; mit Eisen verbindet er sich zum Rost, mit Phosphor zu einer weißen, schneeähnlichen Masse.

Dieser Bestandtheil der Atmosphäre wird Sauerstoff, Oxygen genannt. Es gibt in der ganzen Natur, soweit sie unserer Beobachtung zugänglich ist, keinen Körper, welcher in Bezug auf seine chemische Bedeutung sich nur einigermaßen mit dem Sauerstoff vergleichen ließe; wir wählen daher diesen, um von ihm aus die Gesetze der chemischen Verbindung abzuleiten.

Fassen wir zunächst die schneeähnliche Substanz ins Auge, welche beim Verbrennen des Phosphors entsteht, so wird diese

Digitized by Google

dadurch gebildet, daß Phosphor sich mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft vereinigt; sie ist feste Phosphorsäure. Von den beiden Stoffen, welche zu ihrer Bildung beitragen, ist der eine, nämlich der Sauerstoff, gasförmig, farblos und geschmacklos, der andere, der Phosphor, bei gewöhnlicher Temperatur fest, blaßgelb und durchscheinend; die feste Phosphorsäure hingegen ist weiß, fest und von angenehm sauerm Geschmacke. Es kann offenbar nicht die Rede davon sein, die feste Phosphorsäure für ein Gemeng von Sauerstoff und Phosphor zu halten, etwa wie Gelb und Blau sich zu Grün vermischen, oder wie Zucker sich in Wasser zu einer süßschmeckenden Flüssigkeit auflöst. Denn alle solche blosen Gemenge behalten von den Stoffen, welche in sie eingehen, die Eigenschaften bei, oder stellen sich als eine Vermittlung der entgegengesetzten Eigenschaften jener Stoffe dar. In der Phosphorsäure sind aber einzelne Eigenschaften des Sauerstoffs und Phosphors ganz verloren gegangen, so die Gasform des ersteren, die gelbe Farbe des letztern; dagegen sind einzelne Eigenschaften hinzugekommen, welche sich weder vom Sauerstoff noch vom Phosphor ableiten lassen, insbesondere der saure Geschmack.

Die Phosphorsäure mag uns als Beispiel für chemische Verbindungen überhaupt dienen. Wie der Sauerstoff mit dem Phosphor, so treten überhaupt Stoffe, und zwar bald zwei bald drei bald vier, zu neuen Substanzen unter einander zusammen. Wie jeder der Stoffe vor der Verbindung in sich gleichartig war, so läßt auch die neue Substanz keine verschiedenartigen Bestandtheile in sich erkennen; nirgends tritt in der Phosphorsäure Phosphor oder Sauerstoff mit ihren bisherigen Eigenschaften noch hervor; die verschiedenartigen Stoffe haben sich also bei ihrer Verbindung vollständig durchdrungen, und es ist aus dieser Durchdringung ein neuer, in sich gleichartiger Stoff hervorgegangen. Der neue Körper hat einzelne Eigenschaften von den verbundenen Stoffen beibehalten, so die Phosphorsäure vom Phosphor die feste Consistenz, vom Sauerstoff

Digitized by Google

die Farblosigkeit; aber andere Eigenschaften sind bei der Verbindung ganz verschwunden, und an ihre Stelle sind völlig neue getreten.

Wir halten hier einen Augenblick inne, um auf die elektrischen Erscheinungen einen vergleichenden Blick zu werfen. Wenn zwei Körper eine elektrische Anziehung auf einander ausüben sollen, so muß ihr elektrisches Verhalten ein verschiedenes sein; bei ihrer Begegnung muß der eine Körper positive, der andere negative Elektricität zeigen. Aehnlich ist es im chemischen Proceß. Damit zwei Körper sich chemisch verbinden können, ist es nöthig, daß sie in einer größern oder kleinern Zahl von Eigenschaften von einander abweichen. Die elektrische Anziehung wächst mit dem elektrischen Unterschied; und ebenso wird die chemische Verbindung um so inniger, je mehr die verbundenen Körper sich in wesentlichen Beziehungen von einander unterscheiden. Wenn nun ein positiv elektrischer Körper mit einem negativen zusammentrifft, so gleichen sich ihre entgegengesetzten Elektricitäten aus; das Resultat der Begegnung ist die Herstellung der elektrischen Indifferenz; mit der Ausgleichung der Gegensätze hat die elektrische Kraft aufgehört, fernerhin wirksam zu sein; sie gibt sich durch keine Instrumente mehr zu erkennen. Das Resultat der chemischen Verbindung ist ein anderes. Auch hier treffen Körper von verschiedenen Eigenschaften zusammen; aber sie gleichen nicht einfach diese Eigenschaften aus und bleiben für sich, wie bisher, fortbestehen; sondern beide Körper verschmelzen mit ihrer ganzen Masse und mit allen ihren Eigenschaften; es kommt dabei nicht die einfache Aufhebung der Gegensätze, sondern ein eigenthümlicher Körper von neuen Eigenschaften zu Stande. Mit der Ausgleichung der Elektricitäten hört die elektrische Wirkung auf; die Ausgleichung chemischer Gegensätze führt zur Entstehung eines neuen Körpers, welcher wieder allen übrigen seine chemische Eigenthümlichkeit entgegensetzt.

Die Phosphorsäure, welche aus der Verbindung von

Digitized by Google

Phosphor und Sauerstoff hervorgegangen ist, vermag sich wiederum chemisch zu verbinden. Man braucht nur den Porcellanteller, auf welchem sich der schneeartige Niederschlag befindet, kurze Zeit an der Luft stehen zu lassen, so verändert sich bald das Ansehen der Säure; statt eines festen Körpers hängt jetzt an dem Teller eine farblose, sauer schmeckende Flüssigkeit in feinen Tropfen an. Wir setzen wieder voraus, diese Veränderung sei dadurch eingetreten, daß ein in der Atmosphäre vorhandener Körper sich mit der festen Phosphorsäure zu einer tropfbaren Flüssigkeit verbunden habe. Der neu hinzugekommene Körper ist Wasser, welches als Wassergas oder Wasserdunst in der atmosphärischen Luft enthalten gewesen war. So hat sich demnach zuerst der Phosphor mit Sauerstoff zu Phosphorsäure, dann die Phosphorsäure mit Wasser zu einer Verbindung zweiter Stufe vereinigt. Und hier ist es erst möglich, auch die Bildung des Eisenrostes vollständig zu erklären. Der Rost besteht nicht blos aus Sauerstoff und Eisen; sondern sobald ein Eisentheilchen sich mit Sauerstoff vereinigt hat, nimmt die neue Verbindung aus der Atmosphäre Wasser auf und erhält erst dadurch ihre bräunlichgelbe Farbe.

Wie man eine elektrische Kraft annimmt, welche die Anziehung zwischen positiver und negativer Elektricität bewirkt, so werden auch die chemischen Verbindungen als die Folge einer eigenthümlichen Anziehungskraft betrachtet; man nennt diese Kraft die chemische Verwandtschaft oder Affinität. Auch diese ist bei gleichartigen Körpern unwirksam und steigt an Kraft mit der chemischen Verschiedenheit der Körper. Aber in Einer Beziehung weicht sie von der elektrischen Anziehungskraft sehr wesentlich ab. Entgegengesetzte Elektricitäten ziehen sich nicht blos bei unmittelbarer Berührung der Körper, sondern auch aus kleineren oder größeren Entfernungen an. Die chemische Anziehung hingegen findet nur bei unmittelbarer Berührung der Körper statt; die chemische Affinität wirkt nur auf unmeßbar kleine Entfernungen. In dieser

Beziehung stimmt die chemische Verwandtschaft mit der Cohäsionskraft überein; nur verbindet die letztere die einzelnen Theile eines und desselben Körpers; die erstere vereinigt zwei verschiedene Körper zu einem neuen, in sich gleichartigen Ganzen.

Daß eine chemische Verbindung nur zwischen Körpern möglich ist, die sich unmittelbar berühren, wird aus zahlreichen Beispielen bewiesen. Phosphor vereinigt sich mit Sauerstoff nur dann, wenn die atmosphärische Luft freien Zutritt zu ihm hat; legt man den Phosphor unter Wasser, so wird er unmittelbar von der Berührung und ebendamit von der Einwirkung des Sauerstoffes ausgeschlossen. Ebenso rostet Eisen nicht, wenn man durch einen Ueberzug, z. B. durch einen Anstrich von Oelfarbe, den freien Zutritt des Sauerstoffes hindert. Eisen verbindet sich leicht in höherer Temperatur mit Schwefel; aber damit die Verbindung zu Stande komme, müssen beide in dem gleichen Gefäße beisammen sein. Je allseitiger nun die Berührung der Körper ist, desto mehr wird ihre chemische Verbindung befördert. Am leichtesten geht sie von statten, wenn es gelingt, die Körper vollständig mit einander zu vermischen, so daß sie nicht nur an der Oberfläche, sondern durch ihre ganze Masse hindurch, in allen ihren einzelnen Theilchen sich berühren. In dieser Beziehung eignen sich Gase vorzüglich zu chemischen Verbindungen; denn sie sind einer unbegränzten gegenseitigen Vermengung fähig. Nach den Gasen folgen die tropfbaren Flüssigkeiten; die niedrigste Stufe nehmen die festen Körper ein. Sollen nun zwei feste Körper unter einander chemisch verbunden werden, so ist es mit sehr wenigen Ausnahmen unmöglich, den chemischen Proceß einzuleiten, wenn nicht wenigstens einer der beiden Körper tropfbar oder elastisch flüssig gemacht wird. Man bewerkstelligt die Verflüssigung theils durch höhere Temperatur, durch Schmelzen und Verflüchtigen, theils durch Auflösen in tropfbaren Flüssigkeiten, insbesondre in Wasser oder Weingeist. Wo eine solche Verflüssigung nicht gut geschehen kann, da sucht man sie einigermaßen durch Pulverisiren der Körper zu ersetzen;

Digitized by Google

fein gepulverte Substanzen berühren sich bei Weitem vielseitiger, als größere, feste, in sich zusammenhängende Massen. Im Allgemeinen also nimmt die gegenseitige Berührung der Körper mit der Verschiebbarkeit ihrer Theilchen zu; und diese steigt von den festen Körpern durch die tropfbaren Flüssigkeiten stetig bis zu den Gasen.

Wenn nun auch die Cohäsionszustände der Körper ihrer chemischen Verbindung durchaus günstig sind, so tritt bei ihrer Berührung doch sehr häufig keine Verbindung ein. Allerdings rostet Eisen ohne Weiteres an der Luft; und Phosphor verbindet sich, wenn er leuchtet, fortwährend mit dem Sauerstoff der Atmosphäre. Aber, um auf andere Beispiele überzugehen, Kohle kann lange Zeit mit dem atmosphärischen Sauerstoff ohne weiteren Erfolg in Berührung sein und fängt erst in unseren Oefen an, sich mit ihm unter Feuererscheinungen zu verbinden; das Oel unserer Lampen brennt erst, wenn es von außen angezündet wird. Es ist also in vielen Fällen ein äußerer Anstoß nöthig, damit es zwischen den sich berührenden Körpern wirklich zur Verbindung komme; und dieser Anstoß wird durch die Wärme gegeben. Schon durch Schmelzung und Verdampfung der Körper ist die Wärme in chemischer Beziehung sehr wichtig; aber auch zwischen völlig verflüssigten Stoffen, z. B. zwischen zwei unter einander gemengten Gasen vermag sie oft erst die ruhenden Affinitäten zu erwecken. Wo wir daher im täglichen Leben oder für wissenschaftliche Zwecke chemische Verbindungen einzuleiten suchen, beim Anzünden unserer Feuer, unserer Lampen und Lichter, bei der Bereitung unserer Speisen, bei den Arbeiten unserer chemischen Laboratorien wenden wir immer höhere Wärmegrade als Mittel zur Einleitung und Unterstützung der Processe an. Wie hier die Wärme wirkt, ist nicht leicht zu erklären; vielleicht steigert sie nur die Beweglichkeit der Theilchen, welche zur allseitigen Berührung und daher zur chemischen Verbindung der Körper nothwendig ist; vielleicht geben aber auch die Wärmeschwingungen unmit-

Digitized by Google

telbar den Anstoß zu jener Bewegung, welche als Folge der chemischen Affinität zwischen den Theilchen zweier Körper auf unmeßbar kleine Entfernungen geschieht und ihre innige Verbindung und Durchdringung zur Folge hat.

Unter allen äußeren Einflüssen, welche den Anstoß zu chemischen Verbindungen geben, ist die Wärme weitaus der mächtigste. Aber die chemische Verwandtschaft kann doch noch auf andere Weise erweckt werden. So wirkt zunächst das Licht. Wir dürfen nur auf die grüne Färbung hinweisen, welche das Sonnenlicht in blassen, bisher ohne Licht aufgewachsenen Pflanzentheilen hervorruft, um den Einfluß der Lichtschwingungen auf die Einleitung chemischer Processe darzuthun. Ferner bewirkt auch die Elektricität bisweilen chemische Verbindungen; aber es gelingt fast nur in Gasgemischen, die chemische Verwandtschaft durch den elektrischen Funken zur Aeußerung zu bringen. Druck endlich, Stoß und Reibung rufen chemische Verbindungen nur dadurch hervor, daß sie Wärme erzeugen; die Entzündung unserer Reibzündhölzchen mag hiefür als das nächstliegende Beispiel genügen.

Wir haben erörtert, auf welche Weise die chemische Verwandtschaft vor allem durch Wärme, dann durch Licht und Elektricität erweckt wird. Umgekehrt ist es jetzt nothwendig, den Einfluß der chemischen Affinität auf die übrigen allgemeinen Kräfte und Bewegungen der Natur zu untersuchen. Auch in dieser Beziehung nimmt die Wärme bei Weitem die erste Stelle ein; denn wo Stoffe sich chemisch verbinden, wird Wärme entwickelt. Das Feuer, das unsere Oefen heizt, unsere chemischen Arbeiten einleitet und befördert, wird durch Wärme erzeugt; aber es bringt wieder Wärme hervor, und zwar durch den chemischen Vorgang, welcher ihm zu Grunde liegt. Und wenn die Wärme, welche durch chemische Verbindungen erregt wird, einen hohen Grad erreicht, so gibt sie Veranlassung zu Lichterscheinungen: die Körper, welche sich verbinden, kommen ins Glühen. Chemische Verbindung also ist die nächste Ursache

Digitized by Google

der Wärme und des Lichtes, welche von unseren Oellampen, von den Flammen des Leuchtgases, von brennendem Weingeiste ausgehen. Wir bezeichnen aber solche Processe nur dann als Verbrennungen, wenn der eine von den Körpern, welche in die Verbindung eingehen, gasförmig ist. Phosphor, Kohle, Leuchtgas, Oel, Unschlitt verbrennen in der atmosphärischen Luft; d. h. sie verbinden sich mit dem Sauerstoff der Atmosphäre unter Entwicklung von Wärme und Licht. Wo im gewöhnlichen Leben Verbrennungen vorkommen, da geschehen sie fast ausschließlich durch Vermittlung des Sauerstoffgases.

Wir sind durchaus nicht im Stande, die Erzeugung der Wärme durch chemische Verbindungen irgendwie zu erklären. In manchen Fällen tritt allerdings bei der Verbindung zweier Stoffe eine Verdichtung ein, und hieraus ließe sich dann das Freiwerden von Wärme ableiten. Aber im Allgemeinen findet keine Verdichtung statt, und es kann daher die Wärmeerzeugung überhaupt aus keiner Steigerung der Cohäsion erklärt werden. Ob Elektricität beim Zustandekommen chemischer Verbindungen frei wird, mag bis jetzt noch dahingestellt bleiben. Wir schließen diese Untersuchung, indem wir noch einmal darauf hinweisen, wie vorzüglich die Wärme als Veranlassung und als Produkt chemischer Verbindungen auftritt.

Wenn nun zwei Körper, z. B. Phosphor und Sauerstoff sich chemisch verbunden haben, wie verhält sich das Produkt der Verbindung, die Phosphorsäure, zu beiden Körpern? sind in ihr die Eigenschaften des Phosphors und des Sauerstoffs unwiederbringlich verloren gegangen? ist es unmöglich, die Verbindung beider Stoffe wieder zu lösen? Wenn die entgegengesetzten Elektricitäten sich verbunden haben, so ist der Zustand der elektrischen Indifferenz eingetreten; aber man vermag in jedem Augenblick wieder, die natürliche Elektricität in ihre Gegensätze zu theilen und auf diese Weise unter der positiven und negativen Form wirksam zu machen. Ganz ähnlich verhält sich die chemische Verwandtschaft. Der chemische Gegensatz zwischen

Digitized by Google

Phosphor und Sauerstoff ist durch ihre Verbindung, durch das Zusammentreffen ihrer Affinitäten aufgehoben; die Phosphorsäure drückt den Zustand der chemischen Indifferenz aus. Aber wie in der elektrischen Indifferenz die Gegensätze schlummern, so kann auch in der Phosphorsäure immer wieder der chemische Gegensatz von Phosphor und Sauerstoff geweckt werden; es ist immer möglich, aus der Phosphorsäure wieder Sauerstoff und Phosphor als getrennte Stoffe hervorgehen zu lassen. Der elektrischen Vertheilung entspricht die chemische Zersetzung.

Es wurde früher klar, daß die elektrische Vertheilung theils durch Reibung und Berührung, theils durch den Einfluß elektrischer Körper bewirkt wird. Wie im letzteren Falle die positive oder negative Elektricität des einen Körpers die indifferente Elektricität des andern zerlegt, so vermag man auch chemische Verbindungen durch den Einfluß der chemischen Affinitäten selbst zu zersetzen. Wir kehren wieder zu unserem ersten Beispiele, zum Eisenrost zurück, und sehen vorerst von dem Wasser, welches in ihm enthalten ist, ab; wir nehmen ihn nur als eine Verbindung von Eisen mit Sauerstoff. In diesem Roste sind Sauerstoff und Eisen durch eine Verwandtschaft von bestimmter Größe mit einander verbunden. Wird nun mit dem Rost ein anderer Körper in Berührung gebracht, welcher z. B. an Affinität zum Sauerstoff das Eisen übertrifft, so ist dieser Körper im Stande, dem Eisen den Sauerstoff zu entziehen und sich selbst mit ihm zu verbinden. Auf diese Weise zersetzt Kalium, ein leichtes, auf Wasser schwimmendes Metall, die Verbindung des Eisens mit dem Sauerstoff, indem es den Sauerstoff für sich nimmt und das Eisen ausscheidet. Im Allgemeinen gilt hier aber das Gesetz: Eine chemische Verbindung der Körper A und B wird zersetzt, wenn ein Körper C hinzukommt, der entweder zu A oder zu B eine größere Verwandtschaft hat, als A und B zu einander; es entsteht A + C oder

Digitized by Google

B + C und B oder A wird frei. Wir drücken dieses durch folgendes Schema aus:

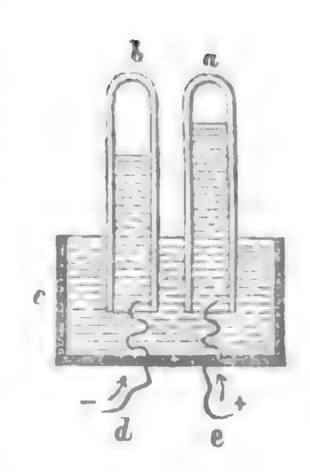
$$\begin{array}{c} A + B \\ C \\ A + C \ldots . B \mid B + C \ldots . A \end{array}$$

Bei dieser Art der Zersetzung wirkt also dieselbe Kraft, welche die chemischen Verbindungen zu Stande bringt. Aber auch andere Kräfte können chemische Verbindungen zerlegen. Schwache Affinitäten widerstehen dem Einfluß der Wärme und des Lichtes nicht. Der Kalkstein, welcher große Massen der geschichteten Gebirge zusammensetzt, besteht aus Kalkerde und Kohlensäure. Erhitzt man den Kalk in unsern Kalkbrennereien, so entweicht die Kohlensäure aus der lockern Verbindung, und es bleibt die reine Kalkerde als sogenannter gebrannter Kalk zurück; der kohlensaure Kalk wird also durch höhere Wärmegrade zerlegt. Die Zersetzungen, welche das Licht hervorbringt, sind in neuester Zeit zu bildlichen Darstellungen, zu Daguerreotypen und Photographieen reichlich benützt worden. Es möge genügen, auf die Lösung von salpetersaurem Silberoxyd oder Höllenstein aufmerksam zu machen, mit welcher das Papier der photographischen Bilder getränkt wird; der farblose Höllenstein wird durch das Sonnenlicht unter Bildung eines schwarzen Niederschlages zersetzt; daher entsteht auf dem Papier überall da, wo Licht einwirkt, eine schwärzliche Färbung, und die Tiefe der Farbe nimmt mit der Stärke der Beleuchtung zu. Ohne Zweifel sind es einfach die Wärme- und Lichtschwingungen, welche durch Mittheilung ihrer Bewegung das schwache Band, welches die Stoffe zusammenhält, lösen, und jeden Stoff wieder aus der Verbindung in seiner Eigenthümlichkeit hervortreten lassen. Aber Wärme und Licht, vielleicht sogar die chemische Verwandtschaft werden in ihrer Fähigkeit, chemische Zersetzungen zu bewirken, durch die Elektricität übertroffen.

Verbindet man die beiden Endpunkte einer galvanischen

Digitized by Google

Kette, den Zinkpol e und den Kupferpol d mit einander nicht durch einen Metalldrath, sondern durch gewöhnliches Wasser, das sich im Gefässe c befindet, so geht die positive Elektricität vom Zink- zum Kupferpol und die negative in umgekehrter Richtung durch das Wasser hindurch. Aber das Wasser dient hier nicht blos als flüssiger Leiter; sondern es wird durch die Einwirkung der entgegengesetzten Elektricitäten in seine Bestandtheile zerlegt. Das Wasser ist nämlich aus zwei gasförmigen Substanzen, aus dem Sauerstoff und aus dem Wasserstoff zusammengesetzt; bei seiner Zerlegung kommen diese beiden Gase zum Vorschein. Man stürzt über die spiralförmig gewundenen Drathenden e und d zwei gleich große, unten geöffnete, mit Wasser gefüllte Glasröhren a und b. Wie nun an den Drathenden die Zerlegung des Wassers geschieht, steigen die gebildeten Gase in den beiden Röhren in die Höhe und verdrängen aus ihnen allmählig das Wasser. Sauerstoffgas und Wasserstoffgas entwickeln sich aber nicht an jedem Drathe zugleich; sondern jenes erscheint am positiven, dieses am negativen Drathe; jenes steigt in die Röhre a, dieses in die Röhre b hinauf. Es liegt die Annahme sehr nah, daß der Wasserstoff des Wassers vom negativen, der Sauerstoff vom positiven Pole der galvanischen Kette angezogen werde, daß daher jener sich als elektropositiv, dieser als elektronegativ verhalte. Und in der That geschieht die Wasserzersetzung blos durch die verschiedene Anziehung, welche die entgegengesetzten Elektricitäten auf die zwei Bestandtheile des Wassers ausüben. Die elektrische Zerlegung führt aber ganz auf dieselben Bestandtheile, welche auch durch andere, chemische Mittel sich im Wasser nachweisen lassen. Wasserstoff und Sauerstoff erscheinen als farblose und geruchlose Gase; nur ist das erstere viel leichter als das letztere; jenes nimmt in der Glasröhre einen doppelt



so großen Raum ein als dieses. Durch chemische Verbindung beider wird wieder Wasser gebildet; und dieß läßt sich am besten darthun, indem man den elekektrischen Funken durch ein Gemenge von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas schlagen läßt.

Wie der chemische Gegensatz zwischen Wasserstoff und Sauerstoff im elektrischen Gegensatze beider Substanzen sein Gegenbild findet, so geht überhaupt dem chemischen Unterschiede der Körper der elektrische parallel: Stoffe, die chemisch different sind, zeigen auch differente Elektricitäten. Diese wunderbare Analogie hat die Elektricität zu dem kräftigsten Mittel gemacht, um chemische Zersetzungen hervorzubringen; man nennt eine solche, durch Elektricität bewirkte Zersetzung Elektrolyse. Die schwierigsten chemischen Zersetzungen sind durch die galvanische Elektricität gelungen. So wurden die reine Kalkerde und verwandte Körper, wie Kali und Natron, lange Zeit für einfach, d. h. für nicht zerlegbar gehalten, bis endlich H. Davy sie auf elektrischem Weg zersetzte und nachwies, daß sie, wie Eisenrost, aus einer metallischen Substanz und Sauerstoff bestehen. Auf der andern Seite wird durch jene Wirkung der Elektricität die früher (S. 128) mitgetheilte elektrische Spannungsreihe sehr erweitert. Wir müssen jetzt, um die elektrischen Unterschiede der Körper aufzufinden, sie nicht erst in Berührung mit einander bringen; sondern wir finden bei Zersetzungen das elektrische Verhalten der Bestandtheile unmittelbar aus dem Pole, an welchem sich jeder derselben entwickelt und ansammelt. Wir greifen aus dieser umfassenden Spannungsreihe die wichtigsten Stoffe heraus, behalten uns aber vor, über die Eigenschaften einzelner dieser Stoffe im fernern Verlauf das Nöthige beizubringen. Wir schreiten auch hier von den elektropositivsten zu den elektronegativsten Körpern fort:

\+ Kalium, Natrium, Calcium, Aluminium, Wasserstoff, Zink, Eisen, Wismuth, Kupfer, Silber, Quecksilber, Platina, Gold, Silicium, Kohlenstoff, Arsen, Phosphor, Jod, Chlor, Stickstoff, Schwefel, Sauerstoff —

Digitized by Google

Alle diese Körper sind sogenannte einfache; d. h. sie haben bis jetzt noch durch keine Mittel in weitere Bestandtheile zerlegt werden können. Die einen sind nichtmetallisch, die andern, gesperrt gedruckten metallisch.

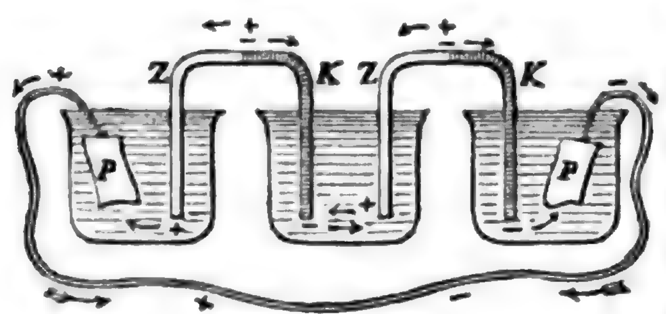
Die Elektrolyse fehlt nirgends, wo der elektrische Strom der galvanischen Kette vom Zinkpol zum Kupferpol durch einen tropfbarflüssigen Leiter geführt wird. Der elektrische Gegensatz, die Scheidung der beiden Elektricitäten bringt also immer auch eine chemische Zersetzung hervor; und beide stehen in so innigem Zusammenhang, daß die Quantität des elektrischen Stromes dem Maaße der chemischen Zersetzung durchaus entsprechend ist. Sollte nun nicht die chemische Zersetzung blos auf elektrische Vertheilung, die chemische Verwandtschaft blos auf die Anziehung elektrisch entgegengesetzter Körper zurückgeführt werden können? sollte es nicht angemessen sein, alle chemischen Erscheinungen aus elektrischer Ursache abzuleiten, eine eigene chemische Affinität also aus der chemischen Wissenschaft auszustreichen?

Wir haben schon früher dargethan, daß chemische Verwandtschaft und Elektricität nicht auf dieselbe Weise thätig sind, daß jene nur bei unmittelbarer Berührung, diese auch auf größere Entfernungen ihre anziehende Kraft ausübt. Wir haben gezeigt, daß die Wirkungen beider zu verschiedenen Resultaten führen, daß durch Ausgleichung der elektrischen Gegensätze einfach nur die elektrische Indifferenz, durch die chemische Verbindung dagegen Körper von neuen Eigenschaften, von neuer chemischer Eigenthümlichkeit zu Stande kommen. Schon aus diesen Gründen scheint es uns nicht erlaubt, die chemische Affinität ganz auf den elektrischen Gegensatz zurückzuführen. Ueberdieß aber machen es alle Untersuchungen wahrscheinlich, daß zwar chemisch verschiedene Körper immer auch elektrisch verschieden sind, daß aber der elektrische Unterschied an Größe nicht immer mit dem chemischen Unterschiede, die elektrische Anziehung nicht immer mit der chemischen Verwandtschaft übereinstimmt. So

Digitized by Google

dürfte die obige elektrische Spannungsreihe einer naturgemäßen Affinitätsreihe nicht ganz, sondern nur annähernd entsprechen; einzelne Körper würden in der letzteren sich etwas näher oder ferner liegen als in der ersteren.

Wir nehmen hienach elektrischen und chemischen Gegensatz, elektrische und chemische Anziehung nicht als gleichbedeutend; sondern wir setzen für die elektrischen, wie für die chemischen Erscheinungen eine besondre Kraft voraus, welche nach polaren Gegensätzen wirkt. Elektricität und chemische Verwandtschaft sind mit einander innig verwandt; und dieses zeigt sich vor Allem darin, daß die Elektricität im Stande ist, chemische Verbindungen zu zersetzen. Die Zerlegung der elektrischen Indifferenz in ihre polaren Gegensätze veranlaßt auch die Zersetzung der Körper in ihre chemisch differenten Bestandtheile. Umgekehrt aber fördert auch die chemische Zersetzung das Auseinandergehen der Elektricität in ihre Gegensätze. Das Wasser, welches als flüssiger Leiter Kupfer und Zink verbindet, vermittelt nicht nur die Leitung des durch Contakt erzeugten elektrischen Stromes; sondern die Wasserzersetzung, welche hiebei unter dem Einfluß des Stromes erfolgt, erhöht wiederum die Menge der entwickelten Elektricitäten. Wechselseitig also wirken elektrische Vertheilung und chemische Zersetzung erregend auf einander ein; aber das Princip, die wesentliche Ursache beider ist verschieden.



Auf diese Weise scheint uns das Verhältniß der Elektricität und chemischen Affinität am besten ausgedrückt zu werden. Nachdem wir aber hiemit die Grundzüge der **Elektrochemie** dargelegt haben, schreiten wir in der Untersuchung des chemischen Processes weiter.

Das Wasser wird, wie wir zeigten, durch galvanische Elektricität in seine zwei Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff,

Digitized by Google

zerlegt. Diese beiden Stoffe widerstehen allen Versuchen, sie weiter chemisch zu zersetzen, und wir nehmen daher an, sie seien einfach, d. h. unzerlegbar. So zerfallen denn alle Körper oder Stoffe in zwei große Abtheilungen, in zersetzbare und unzersetzbare, in zusammengesetzte Körper und in einfache oder Elemente. Ob nicht die chemischen Elemente alle, oder doch einzelne von ihnen, sich später noch als zusammengesetzt herausstellen werden, ist natürlich nicht zu entscheiden; denn viele Körper, die man früher für einfach hielt, sind nachher als chemische Verbindungen erkannt worden; aber nach dem jetzigen Zustande der chemischen Wissenschaft müssen wir wenigstens das Vorhandensein von elementaren Stoffen für möglich halten und die bisher unzerlegten Stoffe als Elemente ansehen. Man zählt jetzt 62 Elementarstoffe. Unter den zusammengesetzten Körpern unterscheiden wir mehrere Stufen oder Ordnungen. So ist die feste Phosphorsäure, welche nur zwei Elemente, Phosphor und Sauerstoff enthält, eine Verbindung erster Ordnung; aber Phosphorsäure mit Wasser verbunden, und ebenso der wasserhaltige Eisenrost gehören schon der zweiten Ordnung an. Wir drücken diese Stufen am besten durch folgende Formeln aus:

$$A \dots B \dots C \dots D \dots E \dots F$$
$$A + B \dots C + D \dots E + F$$
$$(A + B) + (C + D) \dots E + F$$
$$[(A + B) + (C + D)] + (E + F)$$

Bei diesen chemischen Verbindungen gilt im Allgemeinen die Regel, daß Element sich nur mit Element, nicht mit zusammengesetzten Stoffen verbindet.

Wie nun Element zu Element nicht blos chemisch, sondern auch elektrisch ein bestimmtes Verhalten zeigt, so stehen auch die chemischen Verbindungen zu einander in einem elektrischen Gegensatze: wo zwei zusammengesetzte Körper sich chemisch vereinigen, wird der eine negativ, der andere positiv, wie im Wasser Sauerstoff und Wasserstoff sich gegenüberstehen. In dieser Beziehung

Digitized by Google

sind einige Worte über die Verbindungen erster Ordnung nöthig. Es sei z. B. (A + B) + (C + D) eine Verbindung zweiter Ordnung, welche aus zwei Verbindungen erster Ordnung zusammengesetzt ist, so wird ein elektrischer Strom auf jene Verbindung so einwirken, daß der eine, elektropositive Bestandtheil A + B am negativen, der andre, elektronegative Bestandtheil C + D am positiven Pole sich ausscheidet.

Jener elektropositive Bestandtheil heißt dann in der Verbindung die Basis, dieser elektronegative die Säure. Wir haben aber außer dem elektrischen Verhalten noch andre Mittel, um Säure und Basis zu unterscheiden: jene ist sauer von Geschmack und röthet blaue Pflanzenfarben, z. B. die Farbe der Veilchen; diese schmeckt laugenhaft und färbt gelbe Pflanzenfarben braun. Säuren und Basen heben gegenseitig ihre Eigenthümlichkeiten auf; insbesondere stellen Basen die durch Säuren gerötheten blauen, Säuren die durch Basen gebräunten gelben Pflanzenfarben wieder her. Säuren und Basen gleichen sich chemisch und elektrisch aus, neutralisiren sich.

Bei den Säuren sowie bei den Basen haben wir zwei Klassen zu unterscheiden, je nachdem sie den einen oder den andern Bestandtheil des Wassers, Sauerstoff oder Wasserstoff enthalten. Wir haben den Sauerstoff schon früher erwähnt als das äußerste negative Glied der elektrischen Spannungsreihe, als Bestandtheil der Atmosphäre, als die Ursache aller, an der Erdoberfläche vor sich gehenden Verbrennungen. Hier tritt er nun auf als ein sehr wichtiger und äußerst häufiger, immer elektronegativer Bestandtheil von Säuren und Basen. Seine Verbindungen heißen im Allgemeinen Oxyde; der Vorgang, durch welchen Elemente mit Sauerstoff in Verbindung treten, heißt ihre Oxydation, der umgekehrte Proceß die Desoxydation. Dieser Sauerstoff bildet nun Säuren vorzüglich mit nichtmetallischen Elementen, so mit Phosphor die schon bemerkte Phosphorsäure, mit Schwefel die Schwefelsäure, mit Kohlenstoff die Kohlensäure, mit Silicium die in der Erd-

Digitized by Google

rinde so häufige Kieselsäure. Mit den Metallen hingegen setzt er vorzüglich basische Verbindungen zusammen; die stärksten von diesen, welche in Wasser löslich sind, heißen Alkalien; dahin gehört das Oxyd des Kaliums oder das Kali und das Oxyd des Calciums oder die Kalkerde. Unter den übrigen Metalloxyden zählen wir die Thonerde oder das Oxyd des Aluminiums und die Oxyde des Zinks, des Eisens, Kupfers, Silbers, Quecksilbers und Goldes auf; alle diese sind in Wasser nicht löslich. Die Sauerstoffsäuren treten mit den Sauerstoffbasen zu Verbindungen zusammen, in welchen die sauren und basischen Eigenschaften ganz oder wenigstens größtentheils aufgehoben sind; man nennt diese Verbindungen Sauerstoffsalze.

Auf der andern Seite stehen die sauren und basischen Verbindungen des Wasserstoffs. Dieser ist von viel geringerer Bedeutung als der Sauerstoff; er muß hier namentlich als Bestandtheil des Wassers angeführt werden. Er bildet nur mit einer kleinen Zahl von Elementen Säuren. Dahin gehört vor allem das Chlor, ein grünlich gelbes, scharf riechendes, zum Reinigen der Luft und zum Bleichen vielfach benütztes Gas; der Chlorwasserstoff heißt auch Salzsäure. Dann gehört hieher das feste, eigenthümlich riechende Jod mit der Jodwasserstoffsäure und der Schwefel mit seinem bekannten übelriechenden Gase, das sich auch aus faulenden Eiern entwickelt, mit der Schwefelwasserstoffsäure. Zu einem basischen Körper tritt der Wasserstoff nur mit dem Stickstoff zusammen. Der Stickstoff ist in der atmosphärischen Luft gasförmig vorhanden und mit Sauerstoffgas gemengt; außerdem kommt er in allen organischen, und insbesondre in den thierischen Körpern als wesentlicher Bestandtheil vor. Faulen nun thierische Organe oder Flüssigkeiten, z. B. Urin, so entwickelt sich der Stickstoff in Verbindung mit Wasserstoff als ein stark riechendes farbloses Gas, als das basische Ammoniakgas. Dieß wirkt auf Pflanzenfarben ganz wie andre Basen ein, und kann daher wohl als Wasserstoffbasis angesehen werden. Der Wasserstoff tritt in allen diesen Verbindungen

Digitized by Google

als elektropositiver Bestandtheil auf; der Sauerstoff hingegen verhält sich elektronegativ sowohl in seinen Säuren als in seinen Basen.

Wir haben jetzt die polaren Gegensätze nicht blos bei den Elementen, sondern auch bei den chemischen Verbindungen durchgeführt. In weitere Einzelheiten der Chemie dürfen wir hier nicht eingehen; es muß den spätern Abschnitten überlassen bleiben, die Zusammensetzung und die stete Wechselwirkung von Atmosphäre, Wasser und Erdkörper, von organischen und unorganischen Geschöpfen nachzuweisen. Aber noch Eine Frage muß hier beantwortet werden: Nach welchen Verhältnissen verbinden sich Elemente und zusammengesetzte Stoffe unter einander?

In den bisherigen Erörterungen haben wir überall die Wirkungen der Kräfte und die Größe der Bewegungen durch mathematische Gesetze bestimmt gesehen. Wir haben die Schwingungszahlen der Farben und der Töne, das unveränderliche specifische Gewicht der Körper angeführt. Sollten nun die chemischen Verbindungen ohne festes Maaß und Gewicht geschehen? sollte z. B. Wasserstoff und Sauerstoff in beliebigen Verhältnissen sich zu Wasser verbinden? Dieß ist nicht der Fall. Nirgends herrscht über Gewicht und Maaß ein bestimmteres Gesetz, als eben in den chemischen Verbindungen der Körper. Alle, sowohl einfache als zusammengesetzte Stoffe gehen in alle ihre Verbindungen mit bestimmten Gewichten und Maaßen ein. So verhält sich im Wasser der Wasserstoff zum Sauerstoff dem Gewichte nach = 1:8; und wenn ein gewisses Maaß Wasser in seine Bestandtheile zerlegt wird, so beträgt dem Rauminhalte nach das entwickelte Wasserstoffgas das Doppelte vom Sauerstoffgas. Dadurch unterscheidet sich die chemische Verbindung sehr gut vom blosen Gemenge, bei welchem der Antheil der einzelnen vermischten Stoffe ganz gleichgültig ist; die atmosphärische Luft ist ein bloses Gemenge von Sauerstoffgas und Stickgas. Während nun im Wasser der Wasserstoff sich zum Sauerstoff dem Ge-

wichte nach = 1:8 verhält, sind in der oben erwähnten Chlorwasserstoffsäure auf 1 Gewichtstheil Wasserstoff 35 Gewichtstheile Chlor enthalten. Wir kommen hiedurch auf die zweite Frage:

Wenn alle chemischen Verbindungen nach bestimmten Gewichtsverhältnissen geschehen, wenn also z. B. für das Wasser die Verhältnißzahlen der Bestandtheile = 1:8, für den Chlorwasserstoff = 1:35 sind, haben dann die Verhältnißzahlen der einzelnen Verbindung für andere Verbindungen keine Bedeutung? steht z. B. die Zahl 35 des Chlors im Chlorwasserstoff zu der Zahl 8 des Sauerstoffs im Wasser außer aller weiteren Beziehung? Die Zahlen 35 und 8 wurden aus den Wasserstoffverbindungen des Chlors und Sauerstoffs gefunden; wie wird sich nun das Verhältniß herausstellen, wenn Sauerstoff und Chlor sich mit einander verbinden? In der Chlorsäure verhält sich das Chlor zum Sauerstoff = 35:40, in der niedrigsten Oxydationsstufe des Chlors, in der unterchlorigen Säure = 35:8. Es ist also klar: die Verhältnißzahlen, welche wir für Chlor und Sauerstoff aus ihren Wasserstoffverbindungen erhalten haben, finden auch für die Sauerstoffverbindungen des Chlors Anwendung; das Chlor geht in diese Verbindungen mit der Zahl 35, der Sauerstoff mit der Zahl 8 oder einem Mehrfachen derselben, z. B. mit der Zahl 5 mal 8 ein. Wie jeder Körper unter allen Umständen sein eigenes, specifisches Gewicht hat, so *geht jeder Stoff in alle chemischen Verbindungen mit seinem eigenthümlichen Gewichte, mit dem sogenannten Aequivalente oder einem Mehrfachen desselben ein.* Maaß und Gewicht herrscht also nicht nur überhaupt in den chemischen Verbindungen; sondern auch die Eigenthümlichkeit jedes einzelnen Körpers drückt sich in dem Gewichte aus, mit welchem er unter allen Umständen in seinen Verbindungen auftritt.

Wir schließen hier die Betrachtung des chemischen Processes und kehren nun zu dem ersten Anfang unserer Betrachtungen zurück. Die chemische Verwandtschaft ist durch ihre

Digitized by Google

polaren Gegensätze der Elektricität und dem Magnetismus sehr ähnlich; aber sie schließt sich durch ihre Beziehung zum innersten Bestande der Körper an die Cohäsion innig an. Sie wirkt, wie diese, auf unmeßbar kleine Entfernungen; sie ist zwischen den kleinsten Theilchen der Körper thätig. Aber während die Cohäsion das Bestehen der Körper in dem einmal angenommenen Zustande vermittelt, strebt die chemische Affinität dahin, durch Erweckung immer neuer Gegensätze die innerste Natur der Körper ununterbrochen zu verändern. Alle tieferen Umwandlungen der Körper werden durch chemische Processe vermittelt. Die chemische Thätigkeit greift mächtig in die innerste Existenz der organischen und unorganischen Geschöpfe ein; Schall, Licht, Magnetismus, Elektricität, selbst Wärme bringen gegenüber von ihr nur oberflächliche und vorübergehende Eindrücke hervor. Wie unser menschlicher Körper der Cohäsion und Schwere unterthan ist, so geht alle Veränderung unserer leiblichen Existenz Hand in Hand mit chemischen Processen; Verdauung, Blutbildung, Athmung, Ernährung, Ausscheidung gehören ganz unter diese Klasse von Vorgängen. Die Verwesung, welcher unser Körper nach dem Tode verfällt, unterscheidet sich von den chemischen Veränderungen, die während unseres Lebens vorgehen, nicht durch die Natur, sondern nur durch die Richtung, nur durch die Produkte des Processes.

Es ist Zeit, mit diesem allgemeinen Vorgang die Reihe der allgemeinen Eigenschaften und Kräfte der Natur abzuschließen. Wir werfen noch einen Blick rückwärts, um das Gewonnene zu überschauen und den Uebergang zu den ferneren Gebieten der Betrachtung zu bezeichnen.

Uebersicht.

Unser bisheriger Gang mag Manchem mühselig und weitläufig erschienen sein, weil er durch die Einzelheiten der Naturbeobachtung führte. Aber in allen Fällen, wo aus den

Digitized by Google

Naturerscheinungen Gesetze und allgemeine Schlüsse abgeleitet werden sollen, kann nicht mit dem Allgemeinen begonnen, sondern nur das Einzelne, die Erscheinung selbst zum Ausgangspunkte der Betrachtung gewählt werden. Es ist ja einer der Hauptzwecke unserer Untersuchungen, in der Natur selbst Gesetze nachzuweisen und keineswegs in die Natur vorgefaßte, menschliche Gedanken hineinzutragen. Wir versuchen jetzt zuerst, die allgemeinen Eigenschaften und Kräfte der Natur noch einmal als ein zusammenhängendes Bild dem Auge der Leser vorzuführen, und dann soll auseinandergesetzt werden, wie sich das göttliche Wirken zu jenen allgemeinen Naturthätigkeiten verhalte.

In der Natur unterscheiden wir vor Allem bewegende, theils anziehende theils abstoßende Kräfte und Bewegungen, welche als Folgen dieser Kräfte zu betrachten sind. Die erstern umfassen Cohäsion, Schwere, chemische Verwandtschaft, Magnetismus und Elektricität; zu den zweiten gehören theils die allgemeinen Bewegungen der Körper im Raume, theils die speciellen Formen der Bewegung, nämlich Schall, Licht, Wärme und die Elektricität, sofern sie als positive oder negative sich in Leitern fortbewegt. Zweitens muß unterschieden werden, ob die Kräfte und Bewegungen gleichartig sind, wie die Cohäsion und die Schwere, der Schall, das Licht und die Wärme; oder ob sie, wie Magnetismus, Elektricität und chemische Verwandtschaft, unter zwei verschiedenen, polar entgegengesetzten und sich gegenseitig ergänzenden Formen auftreten.

Die Cohäsion vermittelt zunächst das Bestehen jedes einzelnen Körpers, indem sie seine kleinsten Theilchen mit größerer oder geringerer Festigkeit zusammenhält. Aber was uns viel wichtiger erscheinen muß, als diese vereinzelte Existenz der Körper, das ist die Wechselwirkung der einzelnen Körper, der Einfluß, welchen sie gegenseitig auf einander ausüben. In dieser Beziehung können wir im Allgemeinen sagen, daß ein ruhender Körper auch in anderen Ruhe hervorzurufen strebt, daß umgekehrt ein bewegter auch die übrigen in Bewegung setzt. Dieß gilt so-

wohl von den allgemeinen Bewegungen, welche z. B. durch Stoß erzeugt werden, als von den einzelnen Arten der Bewegung, wie Schall, Licht, Wärme; tönende Körper erregen Schallwellen nach allen Seiten; von den Quellen des Lichtes pflanzen sich Strahlen nach den fernsten Gegenden des Weltalls mit großer Schnelligkeit fort; von erwärmten Körpern theilt sich der ganzen Umgebung Wärme mit. Aber die Wirkungsweise der einzelnen bewegenden Kräfte und die Mittheilung der Bewegung zwischen einzelnen Körpern zeigen doch wieder große Unterschiede.

Wo ein Körper durch äußeren Stoß in Schwingungen versetzt wird, klingt er; überall, soweit unsere Erfahrung reicht, sind einzelne Körper die Quellen des Schalles. Auch Licht kann in jedem Körper entstehen; aber die weit überwiegende Quelle des Lichtes ist der Mittelpunkt unseres Planetensystems, die Sonne. Das Licht verhält sich unter allen Naturphänomenen, unter allen von einem Körper ausgehenden Bewegungen bei weitem am umfassendsten, am universellsten. Es verkündet gegenüber von dem Schall, welcher von einzelnen Körpern ausgeht und an einzelnen Körpern haftet, mit überzeugender Klarheit das Wirken eines Mittelpunktes in unserem Sonnensysteme. Zwischen Schall und Licht tritt die Wärme vermittelnd ein, bald in einzelnen Körpern entstehend und von Körper zu Körper langsam sich fortpflanzend, bald als strahlende Wärme weite Strecken mit Geschwindigkeit durcheilend und vornämlich als Ausfluß der Sonne alle Planeten des Systems erwärmend. So prägt sich in Schall, Licht und Wärme Einzelnes und Allgemeines für sich oder verbunden mit Deutlichkeit aus.

Unter den Kräften der Natur ist die Schwere dem Lichte entsprechend. Sie äußert sich gleichfalls in jedem einzelnen Körper; aber diese gegenseitige Anziehung aller Körper kommt gar nicht in Betracht gegenüber von der Wirkung, welche von mächtigen Mittelpunkten nach allen Seiten ausgeht. Unsere Sonne hält alle Planeten durch die Schwerkraft in ihrer Nähe

Digitized by Google

fest, und alle einzelnen Systeme des Reichs der Gestirne werden ohne Zweifel von einem gemeinsamen, höchsten Mittelpunkte angezogen. Diese universellste der Naturkräfte ist überall nach denselben Gesetzen thätig; sie beherrscht alle Naturkörper, und die eigenthümliche Natur des einzelnen Körpers macht sich gegenüber von ihr wenig geltend. Hierin verhält sich das Licht anders; denn obgleich seine wesentliche Natur überall dieselbe ist, so wird es doch durch die einzelnen, leuchtenden oder beschienenen Körper vielfach abgeändert, bald heller oder dunkler gemacht, bald in die unendliche Mannigfaltigkeit der Farben zerlegt. Die Schwerkraft bindet alle Reiche der Natur mit gleicher Strenge zu Einem Ganzen zusammen; das Licht, welches von den Mittelpunkten der Sternsysteme ausstrahlt, läßt dem äußern und innern Auge den ganzen Reichthum, die unerschöpfte Fülle der geschaffenen Welt aufgehen.

Unter denjenigen Kräften, welche nicht gleichartig, sondern unter zweierlei Formen wirksam sind, steht vielleicht der Magnetismus der Schwerkraft noch am nächsten. Denn wie er unter allen irdischen Substanzen sich in Einer, nämlich im Eisen, vorzüglich offenbart, so überwiegt die magnetische Kraft des Erdkörpers bei weitem alle Anziehungen, welche von einzelnen, an der Erdoberfläche befindlichen Magneten ausgehen. Die magnetische Wirkung concentrirt sich also in einigen, theils durch ihre Substanz, theils durch ihre Masse ausgezeichneten Körpern; und es darf gewiß die Vermuthung ausgesprochen werden, daß außer der Erde auch noch andern, vielleicht allen Weltkörpern eine solche Kraft der magnetischen Anziehung inwohne, und daß dieser Magnetismus auch auf die Bewegungen der Himmelskörper nicht ohne Einfluß sei. Dieß sind indeß blose Vermuthungen; sicher ist nur, daß die magnetische Kraft durch ihre Concentration auf einzelne Körper sich auffallend von der elektrischen unterscheidet. Elektricität entwickelt sich unter günstigen Umständen in allen Körpern; ihre Wirkungen sind rasch und gehen auf große Entfernungen hin; überall können sich große

Digitized by Google

Massen von Elektricität ansammeln, und hier werden dann durch das Zusammentreffen der entgegengesetzten Elektricitäten große Effekte hervorgebracht.

Die chemische Affinität, die letzte der polaren Kräfte, wirkt nicht mehr, wie die Elektricität, auf Entfernungen; sondern sie bringt in den Körpern durch unmittelbare Berührung Veränderungen hervor. Hier fehlt alles Universelle, alle Concentration der Kraft; die kleinsten Theilchen werden bewegt und aus ihrer bisherigen Verbindung heraus in neue Verbindungen versetzt. Schall, Licht, Wärme, Schwerkraft, Magnetismus und Elektricität bringen in kurzer Zeit handgreifliche, in die Augen springende Erscheinungen hervor; die Thätigkeit der chemischen Kräfte schreitet langsam und unscheinbar, aber nachhaltig und durchgreifend in den Körpern weiter. Die Umwandlungen, welche die Erdoberfläche in früheren Zeiten der Erdbildung erfahren hat und noch erfährt, die Veränderungen, welche wir an pflanzlichen und thierischen Organismen während ihres Lebens und nach ihrem Tode beobachten, sind zum großen Theile nichts Anderes als die Effekte jener im Stillen wirkenden, zersetzenden und verbindenden chemischen Verwandtschaft. Hier gilt kein Körper mehr als der andre; jeder Stoff greift nach seiner Eigenthümlichkeit in die Processe ein; das Zusammenwirken aller bringt im Großen und Kleinen die mächtigen Erfolge hervor, welche der Mensch lang als ein Wunder der Natur angestaunt hat, deren Zustandekommen aber durch die Wissenschaft der Neuzeit sich immer mehr aufklärt. So sind wir von universellen Bewegungen und Kräften wieder zu einer Kraft zurückgekehrt, welche, wie die Cohäsion, gleichmäßig in allen einzelnen Körpern wirkt; aber wir finden in der Affinität nicht eine erhaltende, sondern eine umwandelnde, Neues erzeugende Thätigkeit der Natur.

Bis hieher sind die allgemeinen Kräfte und Eigenschaften der Natur durchaus von Gesetzen und Regeln bestimmt. Im Großen hält jeder Körper in sich und halten alle Körper unter einander zu-

Digitized by Google

sammen; die einen Körper empfangen von den übrigen Eindrücke und Anstoß zur Bewegung durch Schwere, Licht, Wärme, Magnetismus, Elektricität, Schall, chemische Affinität. Ueberdieß bestehen im Einzelnen für jede Kraft oder Bewegung gewisse feste, durch Zahlen und Größen ausdrückbare Gesetze. So nimmt jede in die Ferne gehende Wirkung, sei es Schwere, Schall, Licht, Elektricität oder Magnetismus, im Quadrate der Entfernung an Stärke ab. So wird das Verhältniß des Gewichtes zum Rauminhalte, d. h. das specifische Gewicht bei jedem einzelnen Körper durch feste Zahlen bezeichnet; so geht jeder in seine chemischen Verbindungen mit einem bestimmten Gewichte ein. So beruhen die einzelnen Töne und Farben auf Schall- und Lichtschwingungen, deren Geschwindigkeit sich mit mathematischer Schärfe berechnen läßt. Aber bei aller dieser umfassenden Geltung von festen Gesetzen bleiben doch sehr wichtige Punkte in der Thätigkeit der Naturkräfte noch unerklärt. Wir sprechen nicht von jenen Abschnitten der allgemeinen Naturwissenschaft, in welche sicher durch die ununterbrochenen Bemühungen der Beobachter noch helles Licht kommen wird. Sondern von jenen Fragen ist hier die Rede, deren Beantwortung durch die neuen, tief eindringenden Untersuchungen eher hinausgerückt als vorbereitet worden ist. Der Naturforscher sucht die Wege auf, wo der menschliche Geist durch Entdeckung des inneren, gesetzmäßigen Zusammenhanges der Dinge die Natur aufschließen und für sich selbst die höchste Befriedigung finden kann. Aber weit ab von diesen Wegen liegen andere, dunklere, für den ersten Anblick weniger dankbare Gebiete. Wir betreten diese Gebiete jetzt, indem wir hoffen, für unseren besonderen Zweck hier wichtige Ausbeute zu finden.

Wir haben bei der Cohäsion der Körper die mannigfaltigen Grade und Unterschiede der Härte, bei der Schwere die Verschiedenheiten des specifischen Gewichtes hervorgehoben; wir haben erwähnt, wie eigenthümlich sich jeder einzelne Körper gegen Schall, Licht und Wärme verhält; wir brauchen nur mit

Digitized by Google

wenigen Worten darauf hinzuweisen, wie auch in Bezug auf Magnetismus, Elektricität und chemische Verwandtschaft kein Körper völlig mit dem andern übereinstimmt. Worin hat diese Eigenthümlichkeit der Körper ihren Grund? woher kommt es, daß die allgemeinen Naturkräfte sich an jedem einzelnen Körper wieder auf besondere Art äußern? Dieß ist die erste Frage, welche die Naturwissenschaft nicht zu beantworten vermag, der erste Punkt, wo die Kenntniß der Naturgesetze uns völlig im Stiche läßt. Wer wüßte z. B. vom Diamanten anzugeben, warum sich gerade in diesem Steine die große Härte, die Durchsichtigkeit, der lebhafte Glanz in solcher Weise vereinigen, daß diese Eigenschaften den Diamant zum geschätztesten Edelsteine machen? Wer könnte einen Grund dafür angeben, warum dem Wasser gerade diese für uns so werthvollen Eigenthümlichkeiten, dieser Cohäsionsgrad, diese Abwesenheit von Farbe, Geschmack und Geruch, diese chemische Indifferenz zukommen? Wer vermöchte endlich für die organischen Körper, für Pflanzen und Thiere das innere Band aufzufinden, welches so viele Eigenschaften in jedem einzelnen Individuum zu einem höchst mannigfaltigen und doch fest gegliederten und eigenthümlich charakterisirten Baue vereinigt?

Gegenüber von der allgemeinen Gesetzmäßigkeit steht hier die Eigenthümlichkeit der Einzelkörper; so stehen gegenüber von der allgemeinen Schwere das specifische Gewicht, gegenüber von dem allgemeinen Gesetze der Schallschwingungen der Klang jedes Körpers, gegenüber von Leitung und Strahlung der Wärme die Eigenthümlichkeiten in Bezug auf Wärmecapacität und latente Wärme, überhaupt gegenüber von jedem physikalischen und chemischen Gesetze die besondere Form seiner Anwendung im einzelnen Körper. Hier ist nicht die Rede von Ausnahmen oder Beeinträchtigungen der Regel; die Naturgesetze gelten ohne Ausnahme in allen einzelnen Naturkörpern. Aber davon möchten wir sprechen, daß in jedem Körper die allgemeinen Gesetze wieder auf ihre besondere Weise in die Er-

Digitized by Google

scheinung treten, und daß es durchaus kein allgemeines, unserm Verständnisse zugängliches Gesetz gibt, nach welchem die Eigenthümlichkeit eines Körpers sich erklären, nach welchem die ganze, eigenthümliche Verbindung seiner Eigenschaften sich aus einzelnen Charakteren zum voraus errathen ließe. Wenn wir mit Einem Blicke die ganze Welt des Geschaffenen überschauen könnten, so müßte sie sich uns als eine Vereinigung von unzählig vielen, durch allgemeine Gesetze bestimmten, aber eigenthümlich beschaffenen Körpern darstellen; gegenüber von der zwingenden Nothwendigkeit der Naturkräfte müßte jeder Körper in der eigenthümlichen Verbindung seiner Eigenschaften eine größere oder geringere Freiheit offenbaren.

Aber hiemit sind die dunkeln Punkte in der Wirksamkeit der allgemeinen Naturkräfte noch nicht erschöpft. Die einzelnen Körper liegen nicht mosaikartig neben einander, jeder mit seinen besonderen Eigenschaften, jeder während seines Bestehens unveränderlich; sondern in jedem Körper verschwinden einzelne Eigenschaften und treten neue hervor. So wechselt unter äußern Einflüssen die Cohäsion und das Gewicht der Körper; so kommen andere Eigenschaften, wie Schall, Licht, Wärme, Elektricität, Magnetismus, chemische Affinität, erst durch äußere Anregung zum Vorschein. Daraus entspringt unsere zweite Frage: Worauf beruhen die Veränderungen in den Eigenschaften der Körper? wie hat man es sich zu erklären, daß einzelne, ganz neue, vorher nicht dagewesene Eigenschaften an den Körpern auftreten?

Die Beantwortung dieser Frage wäre natürlich sehr erleichtert, wenn es gelänge, alle Kräfte und alle Bewegungsformen in der Natur auf Eine oder doch auf wenige natürliche Ursachen zurückzuführen. Man hat diese Vereinfachung oft und auf verschiedene Weise versucht. So schien es einige Zeit, als ob Elektricität und chemische Verwandtschaft, oder Elektricität und Magnetismus nur verschiedene Aeußerungen einer und derselben Kraft wären, als ob Licht in Wärme und Wärme in Licht

Digitized by Google

verwandelt werden könnte. Aber so wie der Stand der Wissenschaft jetzt ist, müssen Schwere und Cohäsion, Schall, Licht und Wärme, Magnetismus, Elektricität und chemische Verwandtschaft als verschiedene Thätigkeiten der Natur auseinandergehalten werden. Wahr ist nur, daß einzelne derselben sich besonders nah verwandt sind, daß einzelne unter einander in einem besonders innigen ursächlichen Zusammenhange stehen. So stehen sich Schall und Licht darin besonders nahe, daß beide auf Schwingungen der Materie beruhen; so besteht zwischen den drei, polar wirkenden Kräften, Elektricität, Magnetismus und chemischer Affinität ein besonders inniges Verhältniß; so ist andrerseits die chemische Affinität der Cohäsion darin sehr ähnlich, daß beide nur auf unmeßbar kleine Entfernungen wirken. Was ferner den ursächlichen Zusammenhang betrifft, so haben wir gezeigt, wie leicht der Magnetismus und die galvanische Elektricität sich gegenseitig erregen, wie kräftig die Wärme chemische Verbindungen, die Elektricität chemische Trennungen befördert, wie umgekehrt bei den chemischen Verbindungen Wärme, bei den Trennungen Elektricität zum Vorschein kommt, wie endlich Wärme und Cohäsion sich gegenseitig aufs Mannigfachste bedingen. Eine Naturthätigkeit erregt oder verändert die andre; aber jede ist in ihrer Art eigenthümlich; wir können uns ihr Verhältniß nicht so vorstellen, daß Eine Grundkraft, Eine fundamentale Thätigkeit, welche bald in dieser, bald in jener Form auftrete, allen einzelnen Thätigkeiten zu Grunde liege. Wollen wir also uns die Naturkräfte nicht als Wesen denken, welche durch irgend einen Zufall zusammengeführt worden sind und jetzt in zufälliger und willkührlicher Weise auf einander einwirken, wollen wir vielmehr nach einem gemeinsamen Grunde forschen, aus welchem sowohl das neue Erscheinen als die dauernde Existenz jener Kräfte abgeleitet werden kann, so müssen wir diesen Grund irgendwo anders als in den Naturkräften selbst suchen. Wir müssen unsere Untersuchung an anderen Punkten neu anknüpfen.

Digitized by Google

Insofern die Naturkräfte sich in Einem Körper zu verschiedenen Zeiten verschieden äußern, wechseln seine Eigenschaften, und wir sind genöthigt, zu einer bestimmten Zeit neben den vorhandenen Eigenschaften in einem bestimmten Körper auch noch die Möglichkeit anderer Eigenschaften anzunehmen. Die schwarze Holzkohle verbreitet im gewöhnlichen Zustande kein Licht; aber in hohen Wärmegraden, wenn sie zum Glühen gebracht wird, entwickelt sie ein Licht von bedeutender Stärke. Eine Saite, eine eingeschlossene Luftsäule erzeugen erst dann einen Ton, wenn durch äußern Stoß in ihnen regelmäßige Schwingungen hervorgerufen werden. Die magnetische Kraft wird vorzüglich im Eisen, die elektrische und chemische Anziehung gleich gut in allen Körpern dadurch zur Wirksamkeit gebracht, daß äußere Einflüsse die Zerlegung jener Kräfte in ihre polaren Gegensätze vermitteln. Die Wärmeentwicklung durch Zusammenpressen der Luft, die verschiedenen Maaße der latenten Wärme schließen sich hier zunächst an. Endlich erwähnen wir die Grade der Cohäsion und Dichtigkeit, welche die Körper unter der Einwirkung äußerer Wärme durchlaufen; wir führen die reiche Fülle von Bewegungen an, deren die Körper unter dem Einfluß der Schwere fähig sind. Wir denken uns als Grund des Auftretens neuer Eigenschaften nicht allein die von außen kommenden Einflüsse, sondern eine Möglichkeit in den Körpern selbst. Diese ist es eben, welche die äußern Einflüsse nicht in allen Körpern gleiche Erfolge hervorrufen läßt, sondern welche den allgemeinen Kräften an jedem einzelnen Körper wieder die besondere, dem Einzelkörper angemessene Art der Aeußerung verleiht. Darum werden verschiedene Körper durch eine und dieselbe Wärmezufuhr nicht zu demselbe Grade erwärmt; darum wird das weiße Sonnenlicht von dem einen Körper wieder weiß, von andern aber grün, gelb, blau, roth zurückgeworfen und durchgelassen; darum geht jeder Körper in alle seine chemischen Verbindungen mit demselben,

fest bestimmten Gewichte ein; darum zeigt die Cohäsion so unendlich viele Grade und Verschiedenheiten.

Wie wir also in jedem Körper eine eigenthümliche Verbindung vorhandener Eigenschaften erkannt haben, so sind wir genöthigt, jedem einzelnen die Fähigkeit zuzuschreiben, neue Eigenschaften auf eigenthümliche Weise an sich hervortreten zu lassen. Und wenn wir nun alle jene wirklich vorhandenen Eigenschaften uns auf abstrakte Weise hinwegdenken, welchen Begriff sollen wir uns von einem Körper bilden, bei welchem erst die Möglichkeit besteht, Eigenschaften zu erhalten, die allgemeinen Naturkräfte an sich in Wirksamkeit treten zu lassen? Mit Einem Worte: können wir uns irgendwie einen noch völlig eigenschaftlosen, nur der Eigenschaften fähigen Körper denken?

Wenn der Bildhauer aus Stein oder Erz sein Kunstwerk formt, so ist ihm der Stoff, welchen er zur Darstellung seiner Ideen benützt, Nebensache; er kann nur insofern von Bedeutung sein, als er die Ausführung des Werkes hemmt oder befördert. Die Hauptsache am vollendeten Kunstwerke ist die äußere Gestalt, welche der Künstler seinem Stoffe gegeben hat; diese Gestalt erscheint vom Stoffe ganz unabhängig, als ein reines, freies Werk des Künstlers, welchem der widerstrebende Stoff blos als Unterlage, als Mittel der sinnlichen Darstellung dient. Ebenso verhalten sich unsere Instrumente und Maschinen. Was sind die Saiten und das Holz des Klaviers ohne die eigenthümliche Form und Verbindung, welche ihnen der sinnige Verstand des Menschen gibt? was ist das fertige Klavier ohne die Hand, welche melodische Klänge in seinen Saiten hervorruft? Die einzelnen Stücke einer Dampfmaschine, einer Uhr erfüllen ihren Zweck nur insofern, als sie auf passende Weise gestaltet und vereinigt werden; ohne diese Zubereitung sind sie todter, zu jenen besonderen Zwecken völlig unbrauchbarer Stoff. Ueberall, wo der menschliche Geist die Körper der umgebenden Natur zu seinen Zwecken benützt, prägt er ihnen neue Eigenschaften ein oder verändert ihre bisherigen Eigenschaften. Der äußere

Digitized by Google

Körper ist dem Menschen blos Mittel zum Zweck, blos die Substanz, aus welcher er seine Werke formt.

Die Vergleichung der Natur mit menschlichen Werken, die unberechtigte Verallgemeinerung der menschlichen Anschauungs- und Thätigkeitsweise haben dahin geführt, daß von einer großen Zahl von Naturforschern ohne allen Anstand ein eigenschaftloser Stoff, eine Substanz angenommen wird, welche den Naturkörpern gleichsam als Unterlage dienen, welche sich zu den Eigenschaften der Körper ebenso verhalten soll, wie der Marmor zu dem Bilde, das der Künstler gestaltet, wie Saiten und Holz zum tönenden Klavier, wie das verschiedenartige Material zu der in Bewegung gesetzten Maschine. Diese Substanz wäre das Ursprüngliche, die Voraussetzung alles Bestehenden; zu ihr wären die Eigenschaften oder die allgemeinen Naturkräfte erst in derselben Weise hinzugekommen, wie der Mensch dem Stoffe seiner Kunstwerke und Maschinen neue Eigenschaften einprägt. Es hätte etwa der göttliche Bildner der Welt diese ursprüngliche Substanz außer sich angetroffen und aus ihr die jetzt bestehende Natur geformt.

Wenn wir unsern Standpunkt, nämlich den Standpunkt der Erfahrung festhalten, so müssen wir zugestehen, daß ein eigenschaftloser Stoff nie Gegenstand der Beobachtung geworden ist. Wo wir Körper untersuchen, finden wir an ihnen zugleich bestimmte Eigenschaften und die Fähigkeit, neue Eigenschaften anzunehmen. Man kommt daher zu der Voraussetzung eines eigenschaftlosen Stoffes durch blose Abstraktion, und man vermag jenen Stoff nicht anders zu charakterisiren als dadurch, daß ihm eben alle Eigenschaften abgehen. Wir sprechen gewiß die Wahrheit besser aus, wenn wir sagen: in der Wirklichkeit seien Körper und Eigenschaften immer beisammen; keines lasse sich ohne das andre denken, und wie es jetzt sei, so sei es ohne Zweifel schon am Anfange der Dinge gewesen; es seien nicht die Eigenschaften zum Körper hinzugekommen, sondern gleich ursprünglich habe es nur Körper von bestimmten Eigen-

Digitized by Google

schaften gegeben. Wir können dieses auch noch allgemeiner ausdrücken. Die Eigenschaften der Körper beruhen auf der Art, wie sich an ihnen die allgemeinen Thätigkeiten und Kräfte der Natur offenbaren. Der eigenschaftlose Stoff, welcher bei den einzelnen Körpern als ihre Substanz angenommen wird, ist für das Ganze der Natur die ungeformte, aller Charaktere entbehrende Materie. Wie es nun im Einzelnen keine körperlosen Eigenschaften und keine eigenschaftlosen Körper gibt, so können wir auch im Allgemeinen keine Naturkräfte und keine Materie für sich annehmen. Mit der Materie waren auch sogleich die in ihr wirkenden Naturkräfte vorhanden. Der Gegensatz von Kraft und Materie als zweier selbständiger Wesen ist daher nicht in der Wirklichkeit, sondern nur in der menschlichen Abstraktion begründet. Wir bedürfen ihn aber bis jetzt noch manchmal zur Verdeutlichung gewisser physikalischer Gesetze; so konnten wir das specifische Gewicht nicht gut anders erklären, als indem wir in einem und demselben Raume bald mehr bald weniger von jenem unbestimmten, den Körpern zu Grunde liegenden Stoffe uns dachten. Es ist die Pflicht künftiger Naturforscher, für diese Thatsachen andre Erklärungen zu finden, welche mit einer gesunden Philosophie besser in Einklang stehen.

Wir können uns also keine Materie ohne Kräfte und keine einzelnen Körper ohne besondere Eigenschaften denken und die Annahme einer eigenschaftlosen, aber Eigenschaften und Kräfte von außen aufnehmenden Substanz oder Materie ist daher in keiner Weise zulässig, um aus ihr die Entstehung und Existenz der Naturkräfte zu erklären. Wenn demnach der Grund für die Existenz der Naturkräfte weder in den Naturkräften selbst, noch in einer vor diesen Kräften vorhandenen Materie gesucht werden darf, so entsteht die Frage, ob dieser Grund überhaupt in der Natur selbst liegen könne. Durch alle Untersuchungen der Naturkörper erfahren wir nur von der Art ihrer Existenz, aber nichts von dem Grunde ihrer

Digitized by Google

Existenz. Die Kenntniß der Naturkräfte insbesondere belehrt uns vollständig darüber, wie die Natur im Allgemeinen und wie die einzelnen Körper existiren; wir finden hier überall die Geltung allgemeiner Gesetze. Aber unsere Beobachtung gibt uns darüber nicht den mindesten Aufschluß, wodurch denn eigentlich die Naturkräfte und die Natur überhaupt existiren; unsere Naturgesetze finden auf diesen Grund der Existenz durchaus keine Anwendung. Es bleibt also nichts übrig, als zuzugestehen, daß der Grund der Existenz der Natur nicht Gegenstand der Naturbeobachtung werden kann, daß ferner dieser Grund, weil er weder in den Naturkräften noch in einer unbestimmten Materie zu suchen ist, überhaupt nicht in die Natur, sondern außerhalb der Natur gesetzt werden muß. Dieser Grund ist, da die Naturkräfte auf ihm beruhen, unabhängig von den allgemeinen Kräften und Gesetzen der Natur. Er muß, da Naturkräfte und Natur in der Wirklichkeit unzertrennlich sind, da jene nur mit dieser existiren, überhaupt als der Grund der Existenz der Natur betrachtet werden.

Gott ist der Grund der Existenz der Natur, ihrer Körper und Kräfte. Als Grund der Natur ist Gott unabhängig von den natürlichen Kräften und Gesetzen; er erhält die bestehende Natur und steht zugleich über und außer der Natur. Wir stellen ihm in dieser Beziehung die Natur als Welt gegenüber. Wenn nun Gott der Grund der bestehenden Welt ist, so muß er auch ohne eine Welt und vor einer Welt gedacht werden. Wir nehmen nicht blos für die einzelnen Dinge, sondern für die Gesammtheit der Dinge einen Anfang ihrer Existenz an; der Grund dieses Anfanges ist derselbe Gott, welcher das Bestehende erhält. Hier erkennen wir Gott als Schöpfer; und die Art des Schaffens ergibt sich aus den letzten Erörterungen. Gott fand bei der Erschaffung der Welt nicht einen ungeformten Stoff, eine eigenschaftlose Materie vor; er gab dieser Materie nicht Kraft, Leben und Gestalt; sondern Gott hat die Welt als ein Ganzes geschaffen, Materie und

Digitized by Google

Kräfte, Körper und Eigenschaften, Stoff und Form zugleich. Wir sind durch die Anschauung der natürlichen Dinge gezwungen, uns die Schöpfung der Welt auf diese Weise zu denken; aber da wir selbst Geschaffene sind, also der Grund unserer Existenz außer uns liegt, so vermag unser Geist durchaus nicht, diese göttliche Weise des Schaffens zu begreifen; wir müssen bekennen, daß sie von unserem menschlichen Schaffen sich darum wesentlich unterscheidet, weil sie Stoff und Eigenschaften der Dinge zugleich erzeugt.

Wir denken uns also die Welt nicht als ewig; und damit ist schon ausgesprochen, daß wir auch die allgemeinen Naturkräfte nicht als ewig anerkennen. Diese Kräfte haben ihre bestimmte, unveränderliche Existenz in derjenigen Welt, von welcher wir selbst nur ein Glied sind. Sie haben ihre Wirksamkeit mit dieser Welt begonnen, und sie werden bestehen, so lange diese Welt besteht. Es ist gewiß mit unserer Erfahrung und mit den Gesetzen unseres Denkens völlig vereinbar, sich eine andre Welt, eine andre Natur als möglich zu denken, und in dieser könnten dann auch andre allgemeine Kräfte wirksam sein. Ursprünglich, in Gott als dem Grunde der Existenz aller Dinge, haben die Naturkräfte gar keine Geltung; wie die Körper, sind sie von Gott erschaffen und werden von Gott erhalten.

Die Wirksamkeit der Naturkräfte umfaßt die eine Seite des göttlichen Wirkens in der Natur. Hier ist alles durch feste Gesetze bestimmt; nach mathematischen Regeln, nach festen Zahlen und Maaßen gehen die Erscheinungen vor sich. Schwere und Licht, Cohäsion und chemische Affinität, Wärme, Schall, Magnetismus und Elektricität treten in der mannigfaltigsten Weise auf; aber durch alle Vielartigkeit ziehen sich die gleichen Grundgesetze als das dauernde, unzerreißliche Band hindurch. Wir finden in dieser Gesetzmäßigkeit nichts, was des göttlichen Wirkens unwürdig wäre. Denn was kann Erhabeneres gedacht werden, als eine Natur, welche von ihrem Ursprunge an bis an ihr Ende durch feste Gesetze bestimmt und bewegt wird,

Digitized by Google

und als Gesetze, welche nicht blos im Geiste erfaßt und stückweise ausgeführt, sondern in ihrer vollen Geltung zur ganzen und ungetrübten Existenz gebracht werden? Hier liegt eben der Unterschied des menschlichen und des göttlichen Wirkens. Während der Mensch den Stoff zur Verwirklichung seiner Ideen willführlich von außen nimmt, und am Ende seines Werkes gestehen muß, daß Gedanke und Ausführung sich nur annähernd entsprechen, gibt der göttliche Schöpfer seinen ordnenden Gedanken aus eigener Macht und unmittelbar die volle Wirklichkeit; ungehemmt und in klarem Flusse bewegen sie die Reiche des Geschaffenen, und wer die Welt in ihrem Anfang, Fortgang und Ende zu überschauen vermöchte, der müßte mit tiefer Bewunderung erkennen, daß die Wirkung dieser göttlichen Gesetze von Anfang bis zu Ende kein Schwanken und keine Störung erlitten habe.

Hiemit ist aber nur die Eine Seite des göttlichen Wirkens erkannt. Gegenüber der strengen Gesetzmäßigkeit, welche unter der Form der allgemeinen Naturkräfte sich durch die ganze Natur hinzieht, steht die Eigenthümlichkeit und die Veränderlichkeit der einzelnen Körper. Jene beruht auf der eigenthümlichen Combination der allgemeinen Eigenschaften im einzelnen Körper, diese auf seiner Fähigkeit, die Eigenschaften zu ändern und statt der alten Eigenschaften neue anzunehmen. Den Grund beider setzen wir, wie den Grund der Existenz der Natur, gleichfalls in Gott. Wir können aber auf diese zwei Punkte für jetzt nur hinweisen; sie sollen erst in den folgenden, speciellen Abschnitten ihre volle Würdigung finden. Dort wird sich zeigen, wie ohne Beeinträchtigung, ja durch Vermittlung der allgemeinen Naturgesetze jeder einzelne Körper in der Combination und in der Veränderung seiner Eigenschaften eine gewisse Freiheit und Eigenthümlichkeit bewahrt. Was die Betrachtung der Naturkräfte uns in dieser Beziehung gelehrt hat, ist nur erst eine Ahnung der reichen Erkenntniß, welche sich durch die Anschauung der einzelnen Natur-

Digitized by Google

gebiete uns aufschließen soll. Aus den verschiedenen Arten der Veränderung der Körper und der Entstehung neuer Eigenschaften heben wir aber jetzt noch Eine hervor, nämlich die Erregung des Magnetismus, der Elektricität und der chemischen Verwandtschaft.

Wo polare Kräfte erregt werden, tritt nicht eine schlummernde Kraft einfach in die Wirklichkeit. Der schlummernde Magnetismus, die schlummernde Elektricität und chemische Affinität werden dadurch wirksam, daß zwei Kräfte von gleicher Natur, aber von entgegengesetzter Richtung sich entwickeln. In beiden magnetischen Polen wirkt Ein Magnetismus; aber der eine Pol richtet sich nach Norden, der andre nach Süden. Harz und Glas, Kupfer und Zink entwickeln beim Zusammentreffen aus derselben ungeschiedenen Elektricität zweierlei, ungleichnamige Formen. Wenn Basis und Säure, Wasserstoff und Sauerstoff sich mit anderen Stoffen verbinden, so ist hier immer dieselbe chemische Affinität, nur in verschiedenem Sinne thätig. Alle Kräfte also, die in polarer Form thätig sind, bleiben im ungeschiedenen Zustande unwirksam, latent; sie treten in Thätigkeit, sobald sie in ihre Gegensätze auseinander gehen. Wenn nun Nordpol und Südpol, positive und negative Elektricität, Säure und Basis von einander geschieden sind, so hören damit die polaren Gegensätze nicht auf, wesentlich verwandt zu sein. Wie sie aus der Ungeschiedenheit heraustraten, so können sie sich wieder zur Indifferenz verbinden; sie streben sogar zu dieser Verbindung hin, sie suchen sich auf und ziehen sich an. Hier sind in der einfachsten Form Vorgänge angedeutet, welche sich bei allen Körpern, vorzüglich aber im Reiche des Organischen wiederholen. Aus der magnetischen Indifferenz gehen nur die beiden Pole hervor; aber aus dem säftereichen Kügelchen, welches den Keim der Pflanze darstellt, entspringt der ganze Reichthum der pflanzlichen Formen, Wurzel, Stengel, Blatt, Blüthe und Frucht. Die magnetischen Pole vereinigen sich nur zur unwirksamen Indifferenz; aber die Organe der

Digitized by Google

Pflanze vermitteln durch ihre Wechselwirkung den vielgegliederten Lebensproceß, Ernährung, Athmung und Bewegung; und ihre Thätigkeit wird nicht mit dem Zurücksinken in die wirkungslose Indifferenz, sondern mit der Bildung eines neuen, entwicklungsfähigen Pflanzenkeimes abgeschlossen. In der Erregung und Wirksamkeit der polaren Naturkräfte ist das einfachste Vorbild für die Entwicklung der Organismen gegeben.

Dieß sind nur Ausblicke in künftige Gebiete. Der göttliche Schöpfer, der alle Dinge unter die Gesetze der Natur gegeben hat, verleiht jedem Körper wieder die Freiheit, sich eigenthümlich zum großen Ganzen zu verhalten. Aber auch diese Freiheit läßt weder Willkühr noch Zufall zu; alle einzelnen Körper greifen wieder gesetzmäßig in einander und bringen auf diese Weise die erhabene Harmonie der Schöpfung hervor.

Es ist jetzt möglich, von den allgemeinen Gesetzen zu den einzelnen Reichen der Natur überzugehen. Die Natur war uns bisher ein ungeschiedenes Ganzes, der Spielraum für allgemeine Kräfte und Bewegungen. Schreiten wir fort zur Untersuchung der einzelnen Körper. Aus dem unbestimmten Grunde unseres Bildes treten bestimmtere Farben, Schatten und Lichter hervor. Wir bedürfen keine weiteren Uebergänge mehr; mit Macht erhebt sich vor unserm Auge jenes Unerklärliche, welches der höchste und vollste Ausdruck der Eigenthümlichkeit der Körper ist, nämlich die Gestalt. In dieser wird Gesetz und Freiheit, wird die Macht und Güte Gottes sich in der vollkommensten Durchdringung offenbaren. Wir versuchen zunächst, die Thätigkeiten und Gestalten der einzelnen Körper dem Auge der Leser vorzuführen; auf einer höheren Stufe wird sich uns das göttliche Wirken aufs Neue, aber in höheren Formen darstellen.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Das Reich der Gestirne.

Der Anblick gibt den Engeln Stärke,
Da keiner dich ergründen mag,
Und alle deine hohen Werke
Sind herrlich wie am ersten Tag.

Göthe.

Aus dem Gebiete der allgemeinen Naturkräfte steigen wir auf zu der Welt der Gestirne. Das Wirken der Elementarkräfte erscheint auf den ersten Blick als willkührlich und gesetzlos; es sind lange, angestrengte Untersuchungen nöthig gewesen, um in Schwere und Cohäsion, in Wärme, Licht und Schall, in Elektricität, Magnetismus und chemischer Verwandtschaft überall Gesetze von durchgreifender Gültigkeit nachzuweisen. An den Gestirnen treten die Gesetze klarer und unmittelbarer zu Tage. Vor allem ist es ihre Bewegung, ihr Erscheinen und Verschwinden, worin das Auge jedes Beobachters sehr bald eine Ordnung, eine regelmäßige Wiederholung zu bestimmten Zeiten erkennt. Völker, welche auf den niedersten Stufen geistiger Bildung stehen, erwarten eben so gut als hochcivilisirte Nationen nach bestimmten Zwischenräumen den Auf- und Niedergang der Sonne, das Eintreten von Neumond oder Vollmond.

Dann ist aber auch der sinnliche Eindruck, welchen wir von den Gestirnen erhalten, viel sicherer und dauernder, als die Eindrücke der allgemeinen Naturkräfte. Unter verschiedenen Umständen tritt Licht, Wärme und Schall an den verschiedensten

Digitized by Google

Körpern hervor. Cohäsion und Schwere greifen in unsre Thätigkeit auf unerwartete Weise bald hemmend bald befördernd ein. Mit Erstaunen sehen wir die Körper durch die magnetische oder elektrische Kraft bewegt. Die chemischen Veränderungen, die Zersetzungen vorhandener und die Bildung neuer Stoffe, das Verbrennen und Verwesen erregen in unserm Geiste die Ahnung einer dunklen, langsam wirkenden, aber die Körperwelt aufs tiefste umwandelnden Gewalt. Wir werden uns der Kräfte bewußt, welche unser Dasein in jedem Augenblicke und in allen Theilen verändern und bedingen; aber wir können diese allgemeinen Kräfte nicht greifen oder festhalten; wenn wir sie in unsrer Macht zu haben glauben, entweichen sie unsrer prüfenden Hand und tauchen an andern Orten und in andrer Weise wieder auf. Die Gestirne aber, welche nach festen Gesetzen am Himmel ihre Bahnen wandeln, erkennen wir leicht, wo sie auch erscheinen mögen. Sie zeigen sich nicht in verschiedenen Weisen; sondern an allen Orten und zu allen Zeiten bewahren sie gewisse wesentliche Eigenschaften und vor Allem ihre unwandelbare Gestalt. An jedem Morgen steigt die Sonne wieder als leuchtende Kugel am Himmel empor; in unsern Nächten glänzen Mond, Planeten und Fixsterne immer mit ihrer bekannten Gestalt und mit dem gleichen Lichte zu uns herüber. Während daher unsere Seele durch die Wirkungen der Naturkräfte verschiedenartig bewegt wird, begrüßen wir die Gestirne und vor Allem Sonne und Mond als vertraute, altbekannte Erscheinungen. Ihr Auf- und Niedergang erfüllt die Seele mit dem Bewußtsein einer festen, alles Bestehende umfassenden Ordnung; ihre Verfinsterung erschreckt unerfahrene Völker als ein Riß in ewige Gesetze.

Sonne und Mond haben für das menschliche Leben dadurch die höchste Bedeutung gewonnen, daß ihr Erscheinen und Verschwinden, ihre höhere und tiefere Stellung, der Wechsel ihrer Gestalt aller menschlichen Rechnung, dem menschlichen Denken und Handeln zum Zeitmaaße dienten; Tage, Monate

Digitized by Google

und Jahre wurden durch sie bestimmt. Aber außerdem wirkt die Sonne auf alle Organismen, welche an der Erdoberfläche leben, auf Menschen so gut als auf Thiere und Pflanzen mächtig ein. Es ist nicht ohne tiefe Bedeutung, daß mit dem Aufgehen der Sonne die Blüthen sich öffnen, daß schlafende Blätter sich auseinander falten, daß viele Thiere den Tag mit kräftigem Erwachen oder mit Gesang begrüßen, daß vor Allem der Mensch an jedem Morgen zu neuer, frischer Thätigkeit erwacht. Die erleuchtenden und erwärmenden Strahlen der Sonne sind zum Leben der meisten Organismen durchaus nothwendig; wo sie fehlen, tritt Krankheit und Verkümmerung ein. Aber mit der Sonne läßt sich in dieser Beziehung entfernt kein anderes Gestirn vergleichen; ja es muß sogar bezweifelt werden, ob vom Mond, von den Planeten, Fixsternen oder Kometen überhaupt irgend eine Einwirkung auf das leibliche Leben der Menschen, Thiere oder Pflanzen ausgeht.

In älteren Zeiten, wo zwischen allen Körpern der Natur ein offener oder geheimer ursächlicher Zusammenhang gedacht wurde, nahm man gar keinen Anstand, allen Gestirnen einen bedeutenden Einfluß auf das Leben des Menschen, der Thiere und Pflanzen zuzuschreiben. Insbesondere wurde in dieser Beziehung der Mond und seine hauptsächlichen Phasen, Neumond und Vollmond, beachtet. So sollte bei den alten Deutschen jedes menschliche Werk, für welches man Wachsthum und Gedeihen wünschte, im zunehmenden Mond begonnen werden; in dieser Zeit wurden Ehen geschlossen, neue Häuser bezogen, Schlachten geschlagen. Umgekehrt sollten in der Zeit des abnehmenden Mondes Ehen gelöst, Gras gemäht, Holz gefällt, Krankheiten vertrieben werden. Aehnliche Ansichten vom Einfluß der Gestirne ziehen sich mannigfach, wenn auch vereinzelt bis in unsere Zeit herab, und vorzüglich bei Krankheiten wird die Zu- oder Abnahme des Mondes sehr häufig vom Volke berücksichtigt; die Nägel der Finger werden bei zunehmendem

Digitized by Google

Monde beschnitten, Kröpfe und Würmer bei abnehmendem Monde vertrieben.

Der Einfluß der Gestirne auf den Menschen, auf die Erde und ihre Organismen steigerte sich im Bewußtsein der Völker bis zu der Idee göttlicher Einwirkungen, welche von den Gestirnen auf das geistige und leibliche Leben des Menschen und der Erde ausgehen. Die freien Stämme Arabiens, welche auf den weiten Ebenen und Wüsten ihres Landes die Bewegungen der Himmelskörper in ihrer größten Ausdehnung beobachteten, entwickelten zuerst jenen Gestirndienst, der die Gestirne nicht als Diener, Boten oder Zeichen der Gottheit, sondern selbst als Gottheiten verehrte. Von den Gestirnen sollte insbesondere die Fruchtbarkeit der Erde, der reiche Ertrag der Pflanzen und Thiere abhängen, und da unter allen die Sonne am mächtigsten wirkt, so wurde sie als oberste Gottheit verehrt. Nächst ihr stand der Mond und andere Sterne; jeder Stamm hatte sich einen besondern Stern zu seinem Schutzgotte auserkoren.

Diese Lehre wurde von den Chaldäern in Mesopotamien und besonders in Babylon weiter ausgebildet. An die Seite der Sonne und des Mondes traten hier fünf Planeten, Mars, Merkur, Jupiter, Saturn und Venus. Jeder Stern erhielt seine besondere Kraft und Wirksamkeit zugetheilt; was auf Erden lebte und sich bewegte, hatte seine Kraft nur von den Sternen überkommen. So ward der Gestirndienst in ein festes System gebracht. Die Gesetze, welche in der Bewegung der Gestirne sich offenbarten, galten als Richtschnur für alles Geschaffene. Daher erschien der chaldäischen Lehre als das Höchste überall die Gesetzmäßigkeit, das richtige Abwägen des Maaßes. Strenge Nothwendigkeit bestimmte alles Geschehen, die Erscheinungen der Natur wie die Handlungen der Menschen. Die sittliche Freiheit, der Unterschied von Gutem und Bösem, der Glauben an einen übernatürlichen Gott fand in dem Systeme der Chaldäer keinen Platz. Sie waren, so gut als die Schamanen, völlig in das Natürliche versunken; nur fehlte ihnen die unheim-

Digitized by Google

liche Angst der Anbeter der Naturkräfte; die feste Ordnung im Reiche der Gestirne gab ihrer Lehre Sicherheit und festere Gliederung, ihrem Denken und Handeln größere Zuversicht.

Wir haben nur mit wenigen Worten die übrigen Formen zu erwähnen, unter welchen die Gestirne im Bewußtsein der Völker auftraten. Galten die Himmelskörper nicht selbst als Gottheiten, so blieben sie doch in nächster Beziehung zu den Göttern; so galt die Sonne bald als Antlitz eines Gottes, bald als des Zeus oder Wuotan's Auge. Aber wo je der Eine Gott über der Natur verehrt worden ist, sei es in Israel oder unter Christen, da sind immer die Gestirne als besonders klare Zeichen seiner göttlichen Eigenschaften angesehen worden. Das mächtige Gestirn des Tages und die sanfteren Lichter der Nacht haben immer in den Seelen der Weisen oder Unweisen das Bewußtsein von dem Wirken der höchsten Macht und Weisheit aufs Neue entzündet.

Wir gehen zu den einzelnen Beziehungen der Gestirne über. Wir handeln zuerst von den Bewegungen, von der Ausstrahlung von Licht und Wärme, von der Zusammensetzung und Gestalt der Himmelskörper; dann werden wir in einer Uebersicht untersuchen, wie die Natur der Gestirne sich zu unserm hauptsächlichen Zwecke, nämlich zur Nachweisung des göttlichen Schaffens und Wirkens verhält.

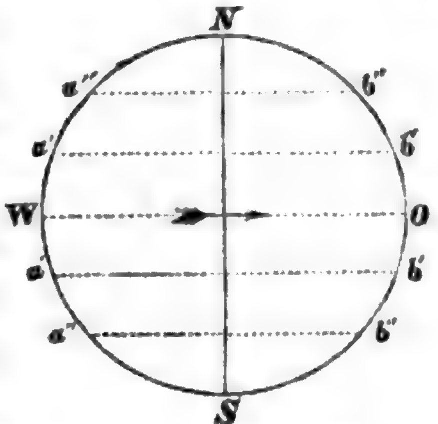
---

1) **Die Bewegung der Gestirne**. Wir brauchen hier nicht Beweise dafür beizubringen, daß die Erde nahezu kugelförmig ist und daß sie sich um ihre eigene Axe bewegt. Denn seit den Weltumsegelungen der neueren Zeitrechnung, seit Columbus und Magellan, kommt es Niemand mehr in den Sinn, die Erde als einen platten Körper sich vorzustellen. Und seit Copernikus nachgewiesen hat, daß die Erde sich in vierundzwanzig Stunden um ihre Axe dreht, leitet Niemand mehr das scheinbare Auf- und Untergehen der Sonne und der Sterne von einer wirklichen Bewegung der Gestirne ab. Wir setzen

Digitized by Google

also diese zwei Thatsachen voraus und handeln nur von ihren wichtigsten Folgen und Anwendungen.

Wenn der Weltkörper, den wir bewohnen, nicht im Weltraume ruhig liegt, sondern ununterbrochen bewegt wird, so muß vor Allem nach der Art dieser Bewegung gefragt werden. Eine Kugel, die wir im Kegelspiel hinausrollen, bewegt sich außerdem, daß sie von der Stelle rückt, auch um sich selbst; wir haben schon von der Erdkugel gesagt, daß sie gleichfalls Umdrehungen um sich selbst macht. Die Umdrehungen der Kegelkugel sind unregelmäßig; sie geschehen im Allgemeinen um ihren Mittelpunkt; aber ihre Richtung, die Umdrehungsaxe ist sehr wechselnd. Bei der Erde gilt ein strenges Gesetz; ihre Umdrehungen erfolgen immer in derselben Richtung und um dieselbe Axe. Die Linie N S, um welche die Erdkugel sich dreht, heißt im Allgemeinen die Erdaxe; sie verbindet Nord- und Südpol; die Umdrehung geschieht in der Richtung von W nach O, von West nach Ost. In dieser Richtung bewegt sich also jeder Punkt an der Oberfläche oder im Innern der Erde; er vollendet seinen Umgang in 24 Stunden und beschreibt hiebei einen vollständigen Kreis. Solche Kreise können an der Erdoberfläche so viele gedacht werden, als sich überhaupt in einer die Pole verbindenden Linie Punkte unterscheiden lassen; sie werden als Parallelkreise bezeichnet; dahin gehören die Linien W O und nach beiden Seiten hin a′ b′ und a″ b″. Nun ist klar, daß diese Kreise immer kleiner werden, je mehr man sich den Erdpolen N und S nähert, daß hingegen der größte Kreis am weitesten von beiden Polen entfernt, also in der Mitte zwischen beiden Polen liegt; dieß ist der Aequator, die Linie W O. Die verschiedenen Punkte der Erdoberfläche durchlaufen also vermöge der Axendrehung der Erde in 24 Stunden sehr verschiedene Bahnen, und zwar um so kürzere, je näher sie den



Digitized by Google

Polen liegen; für jeden einzelnen Punkt der Erde nimmt die Geschwindigkeit der Umdrehung von dem Aequator gegen die Pole hin stetig ab. Ein Punkt, welcher sich auf dem Aequator befindet, legt in 24 Stunden 5400 Meilen zurück; unter 89°, also ganz in der Nähe des Poles, durchläuft ein Punkt nicht mehr als 94 Meilen.

Hier liegt vor uns die erste Art der Bewegung im Reich der Gestirne, die Kreisbewegung aller Theilchen eines Himmelskörpers um eine gemeinsame, unveränderliche Umdrehungsaxe. Die Schwerkraft, die vom Erdmittelpunkte aus wirkt, erhält alle Körper, welche sich im Innern oder an der Oberfläche der Erde befinden, in ihren kreisförmigen Bahnen. Aber dieser Schwere wirkt eine andere Kraft entgegen. Wenn wir einen festen Körper, z. B. einen Stein, an einer Schnur befestigen und im Kreise herumschwingen, so wird dieser Körper in seiner Kreisbahn durch die Cohäsion der Schnur festgehalten; aber der Schwung theilt ihm zugleich das Bestreben mit, sich aus seiner Bahn in der Tangente des Kreises zu entfernen. Wir haben dieses Bestreben früher (S. 40) von der Centrifugalkraft abgeleitet; wenn die Schnur reißt, so tritt diese Kraft ungehindert in Wirksamkeit. Ganz auf dieselbe Weise wird jeder Punkt der Erdoberfläche durch die tägliche Axendrehung in einen gewissen Schwung versetzt. Wie nun die Centrifugalkraft um so größer wird, je rascher wir den Stein im Kreise schwingen, ebenso nimmt natürlich auch für alle Punkte an der Erdoberfläche der Schwung mit der Geschwindigkeit ihrer Umdrehung zu. Er ist gleich Null an den Polen und steigt von beiden Polen bis zum Aequator. Aber auch am Aequator überwiegt noch die Schwerkraft sehr bedeutend die Centrifugalkraft; sie beträgt hier noch das 289fache der letzteren. Daher reißt die Centrifugalkraft nirgends an der Erdoberfläche Körper los, um sie in den freien Himmelsraum hinauszuführen; sondern die Schwere ist bei weitem die oberste

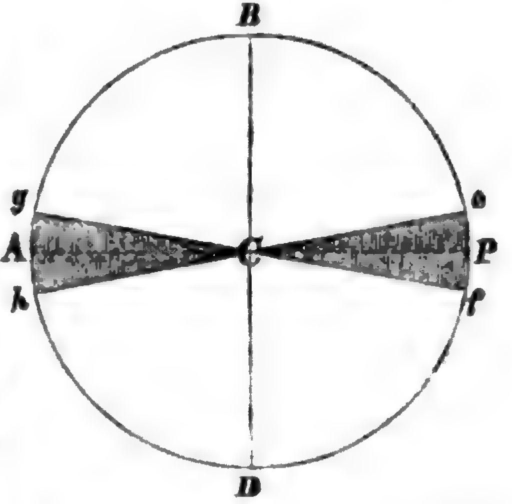
Digitized by Google

Kraft, und gegenüber von ihr gewinnt die Centrifugalkraft nur eine sehr untergeordnete Bedeutung.

So vollendet die Erde in vierundzwanzig Stunden ihre Umdrehung. Der Mittelpunkt, die Axe dieser Bewegung liegt in ihr selbst; alle einzelnen Theile der Erde nehmen an der Umdrehung Antheil. Mit der Umdrehung ist auch ein Tag vollendet; die Sonne steht wieder über dem Punkte der Erdoberfläche, den sie vor vierundzwanzig Stunden beschienen hatte.

Und wenn nun die Erde einmal kein ruhender Körper ist, so entstand natürlich die weitere Frage: dreht sie sich immer nur auf derselben Stelle um sich selbst? rückt sie im Himmelsraume nicht weiter, und richtet sie sich in dieser Fortbewegung nicht nach einem andern, größern und mächtigern Gestirne? Die Entdeckung des Copernikus ist Gemeingut geworden, nämlich daß die Erde sich in einer krummen Bahn um die Sonne bewegt, und daß sie je nach Verfluß eines Jahres sich immer wieder auf derselben Stelle der Bahn befindet.

Unter allen krummen Linien, welche wieder in sich selbst zurückkehren, ist der Kreis auf den ersten Anblick zugleich der einfachste und regelmäßigste. Sein Mittelpunkt C liegt so, daß die Halbmesser CP, CA, CB, CD 2c. alle gleiche Länge haben. Es schien daher den früheren Astronomen, für die regelmäßige, immer in sich zurücklaufende Bahn der Gestirne passe vor Allem der einfache, nach allen Richtungen gleich sich verhaltende Kreis. In kreisförmigen Bahnen sollten anfangs alle Gestirne um die ruhende Erde, sollte dann die Erde sich um die Sonne bewegen. Hier sollten sich lauter klare und einfache Verhältnisse herausstellen. Nehmen wir z. B. an, die Erde rücke in ihrer Kreisbahn von e durch P nach f, so bewegt sich eben damit der Halbmesser des Kreises von C e



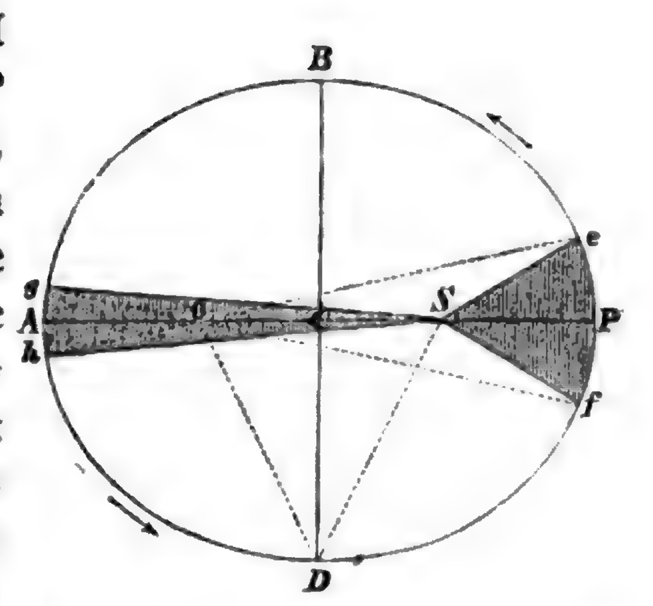
Digitized by Google

nach C f und legt dabei den Flächenraum C e P f zurück. Denken wir uns dann die Erde in einem andern Theil ihrer Bahn von h durch A nach g bewegt, so beschreibt hier der Halbmesser des Kreises den Flächenraum C h A g. Es erscheint nun sehr natürlich, daß, wenn die Bogen e P f und h A g gleich lang sind, auch diese Bahnstrecken von der Erde in gleicher Zeit durchlaufen werden, und ebenso, daß der Halbmesser der Bahn die Räume C e P f und C h A g in der gleichen Zeit zurücklege; oder mit andern Worten: es läßt sich voraussetzen, daß in der Kreisbahn die Zeit sich den durchlaufenen Bogen und ebenso den vom Halbmesser zurückgelegten Flächenräumen gleich verhält, daß sie mit den Bogen und Flächenräumen in gleichem Maaße wächst und abnimmt.

Indeß so einfache Verhältnisse gelten weder für die Bahn der Erde um die Sonne, noch überhaupt für alle jene Gestirne, welche um mächtige Mittelpunkte kreisen. Wie im Spiel der Naturkräfte überhaupt jeder Körper seine ausgeprägte Eigenthümlichkeit behauptet, so bewegt sich auch jedes Gestirn in seiner eigenthümlichen Bahn. Der Kreis würde diesen Eigenthümlichkeiten keine Stelle gewähren; er würde nur in der Länge seines Halbmessers Verschiedenheiten zulassen. Gesetzmäßigkeit und Eigenthümlichkeit wird zugleich in der Ellipse erreicht; und in dieser bewegen sich alle Planeten und insbesondere die Erde um die Sonne. Kepler's umfassender Geist hat zuerst die elliptischen Planetenbahnen nachgewiesen und dadurch Licht und Ordnung an die Stelle der bisherigen Verwirrung gesetzt.

Es ist nothwendig, die wichtigsten Eigenschaften der Ellipse hier sogleich zusammenzufassen. Denn was von der Bahn der Erde und der Planeten gilt, scheint, je weiter die Astronomie fortschreitet, für die Bewegung der Gestirne überhaupt sich immer größere Geltung zu verschaffen. Wir dürfen hoffen, mit dem Verständniß der Ellipse auch die Grundbeziehungen der Bahnen aller Weltkörper erkannt zu haben.

Digitized by Google



Die Ellipse stellt ein Oval dar mit einer großen Axe A P und einer kleinen Axe B D, welche die erstere unter einem rechten Winkel im Mittelpunkte C schneidet. Nimmt man die halbe Axe P A, also die Linie A C, und beschreibt mit ihr als Halbmesser einen Kreis um D als Mittelpunkt, so wird die große Axe durch diesen Kreis in den Punkten O und S geschnitten. Diese zwei Punkte heißen die Brennpunkte der Ellipse; sie sind beide von dem Mittelpunkte C der Ellipse gleich weit entfernt. Wenn nun die Erde die elliptische Bahn in der Richtung der Pfeile durchläuft, so befindet sich die Sonne nicht etwa im Mittelpunkte C, sondern in dem einen der Brennpunkte, z. B. in S. Die Erde befindet sich während ihres Laufes bald in der Nähe bald in der Ferne der Sonne. Am nächsten steht sie dieser in P, im Perihelium oder in der Sonnennähe, am fernsten in A, im Aphelium oder in der Sonnenferne; die mittlere Entfernung findet sich in B und D.

Wenn nun überhaupt die Sonne auf die Erde einwirkt, — und dieses geschieht ja sehr deutlich durch Licht und Wärme, — so wird natürlich der Grad der Einwirkung verschieden sein, je nachdem sich die Erde in der Sonnennähe, in der Sonnenferne oder in einer mittlern Entfernung befindet. Die Ellipse bedingt also außerdem, daß sie jedem Gestirn eine bestimmte Eigenthümlichkeit in der Form der Bahn gestattet, auch in den Zuständen jedes einzelnen Gestirnes wieder gewisse Unterschiede, je nachdem es dem Centralkörper mehr oder weniger nah ist. Ueberdieß bringt sie aber auch einen Wechsel in die Geschwindigkeit des Himmelskörpers an verschiedenen Stellen seiner Bahn. Wir haben bei einer Kreisbahn angenommen, daß die

Digitized by Google

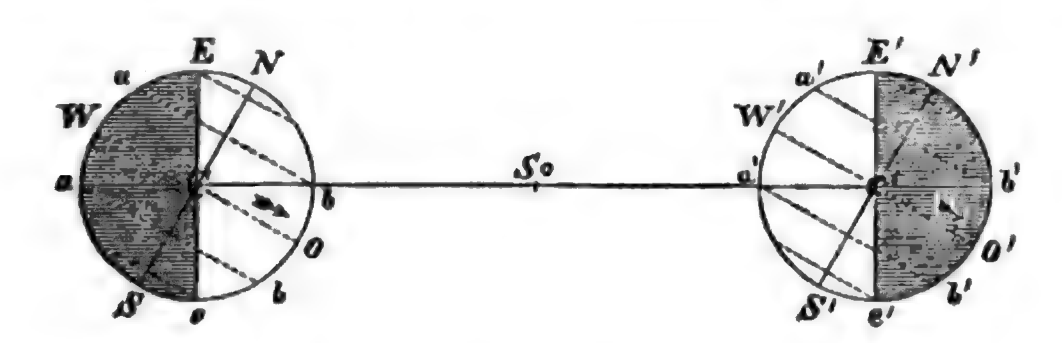
Zeit des Umlaufs sich sowohl dem durchlaufenen Kreisbogen als dem Flächenraume, welchen der Halbmesser zurücklegt, gleich verhalte.

In der Ellipse heißt jede Linie, welche von dem einen Brennpunkte, z. B. von S, zur Peripherie gezogen wird, ein Radius Vector; dahin gehören die Linien S e, S g, S h, S D, S f. Es springt in die Augen, daß diese Radien nicht wie die Halbmesser des Kreises gleiche Längen haben. Damit ändert sich auch das Verhältniß der Umlaufzeiten. Diese verhalten sich nämlich auch in der Ellipse gerade wie die Flächenräume, welche der Radius Vector zurücklegt. Es sei z. B. der Flächenraum S f P e dem Flächenraume S h A g gleich; so werden beide Räume vom Radius Vector in gleicher Zeit durchlaufen; dieser rückt nicht schneller von S g nach S h, als von S f nach S e weiter. Daraus folgt unmittelbar, daß der Himmelskörper, welcher am Ende des Radius Vector sich fortbewegt, in der gleichen Zeit von f durch P nach e, als von g durch A nach h gelangt. Die Umlaufzeiten verhalten sich also nicht mehr gerade wie die von dem Körper durchlaufenen Bogen der Ellipse, sondern während derselben Zeit legt der Himmelskörper in der Sonnennähe einen größeren Bogen zurück als in der Sonnenferne; seine Geschwindigkeit ist im Perihelium größer als im Aphelium.

Diese Erörterungen reichen schon hin um zu zeigen, wie in den elliptischen Bahnen der Gestirne zugleich Mannigfaltigkeit und strenge Gesetzmäßigkeit herrscht. Es wird bei der Untersuchung der einzelnen Verhältnisse des Erdkörpers erst klar werden, daß in der elliptischen Bahn, in den Gegensätzen der Sonnennähe und der Sonnenferne, der rascheren und langsameren Bewegung die ersten Keime zu aller jener Mannigfaltigkeit liegen, welche wir an der Oberfläche der Erde, in den Formen der Erdrinde, in den Gestalten und Thätigkeiten der belebten irdischen Geschöpfe erkennen. Aber noch Eine Thatsache muß zur Vervollständigung des Bildes hinzugefügt

Digitized by Google

werden. Wenn wir die Ebene der elliptischen Erdbahn, die sogenannte **Ekliptik**, mit der Umdrehungsaxe der Erde vergleichen, so wäre der einfachste Fall der, daß die Erdaxe senkrecht auf jener Ebene stünde. Aber auch hier entspricht die Wirklichkeit nicht der einfachsten Voraussetzung unseres Verstandes. Die Erdaxe NS ist



gegen die Ebene der Erdbahn, gegen die Linie a b′, unter einem bestimmten Winkel geneigt. Daher fällt auch die Ebene des Aequators WO nicht mit der Bahnebene zusammen. Der Winkel W C a, welchen beide miteinander machen, beträgt im Mittel 23½°. Dieser Winkel gibt das Maaß für die sogenannte **Schiefe der Ekliptik**; er schwankt etwas im Laufe der Jahrtausende, ohne aber im Ganzen zu- oder abzunehmen. Von dieser Schiefe der Ekliptik hängt der Wechsel der Jahreszeiten und die verschiedene Beleuchtung der einzelnen Theile der Erdoberfläche ab; die Beleuchtungsgränze E e und E′ e′ fällt durchaus nicht in die Pole N S und N′ S′. Wir kommen bei der Betrachtung des Erdkörpers wieder auf diese schiefe Stellung seiner Axe ausführlich zurück.

Nun entsteht aber die Frage: auf welche Weise ist die elliptische Bahn der Erde um die Sonne zu erklären? Wir haben oben gezeigt, daß jeder Punkt im Innern oder an der Oberfläche der Erde in 24 Stunden einen kreisförmigen Weg um die Erdaxe zurücklegt. Wir sind durchaus nicht im Stande anzugeben, durch welche Ursache diese Umdrehung der Erde um ihre Axe begonnen hat und fortdauert; aber wir wissen, daß alle Theile der Erde durch die Schwerkraft in ihrer kreisförmigen Bahn festgehalten werden, und daß hier gegenüber von

Digitized by Google

der Schwere die Centrifugalkraft kaum in Betracht kommt. Ganz anders verhält es sich mit der elliptischen Bahn der Erde um die Sonne. Hier hängt der kreisende Körper nicht, wie die einzelnen Theile der Erde, unmittelbar mit dem Mittelpunkte seiner Bahn zusammen; die Erde bewegt sich in einer bestimmten Entfernung von der Sonne; sie rückt weiter, während die Sonne im Brennpunkte der Ellipse ruht. Wie ist nun die Erde in ihre Entfernung von der Sonne gekommen? wie wird sie in dieser Entfernung fortwährend erhalten?

Wir verdanken dem Scharfsinne Newton's die Nachweisung, daß die Kraft, welche die Erde in ihrer Bahn um die Sonne festhält, eben dieselbe Schwere ist, die an der Erdoberfläche den Fall und das Gewicht der Körper veranlaßt. Diese Schwere haben wir früher als eine fortwährende, beschleunigende Kraft kennen gelernt; wir haben gesehen, daß sie beim Falle der Körper eine zunehmende Geschwindigkeit veranlaßt (S. 36). Wenn nun eine solche fortwährende Kraft mit einer andern, nur einmal sich äußernden Kraft zugleich, aber in verschiedenen Richtungen auf einen Körper wirkt, so muß sich der letztere in einer mittleren Richtung (S. 43) fortbewegen; aber er bewegt sich hiebei, wie vorzüglich Newton gezeigt hat, nicht in einer geraden, sondern in einer krummen Linie; unter die Linien, welche er hiebei beschreibt, gehört vor Allem die Ellipse. Aus diesem Grunde hat Newton die Ansicht aufgestellt, daß die elliptische Bahn der Erde durch zwei Kräfte bestimmt werde. Die eine dieser Kräfte, welche ununterbrochen fortwirke, sei die Schwere; sie ziehe für sich die Erde gegen den Centralkörper hin. Die andere Kraft habe nur einmal gewirkt, und zwar in der Richtung der Tangente der Ellipse; seit dem Beginn der elliptischen Bewegung sei sie nicht mehr in Wirksamkeit getreten, aber ihr einmaliger Stoß genüge, um die Erde von der Sonne entfernt zu halten. Diese zweite Kraft kann als dieselbe mit der Centrifugalkraft angesehen wer-

Digitized by Google

den, welche wir beim Schwung der Körper und bei der täglichen Axendrehung der Erde unterschieden haben.

Newton's Erklärung der elliptischen Erdbahn muß als ein Beweis von tief eindringendem Geiste betrachtet werden; sie hat für die Erkenntniß der Bewegung der Gestirne so viel geleistet, als durch Mathematik und Physik überhaupt zu erreichen möglich war. Aber von den zwei Kräften, welche die Erdbahn bestimmen, läßt sich doch nur die Eine, nämlich die Schwere, an zahlreiche und nahliegende Erfahrungen anknüpfen. Was sollen wir uns hingegen unter jenem einmaligen Stoße denken, der gleich anfangs in der Richtung der Tangente auf die Erde wirkte, und der seither gerade nur hingereicht hat, um die Erde an dem Zurückstürzen auf die Sonne zu verhindern? Hier ist ein Punkt, welchen unsere physikalischen Kenntnisse nicht aufzuhellen vermögen. Wir finden in Newton's Erklärung eine tiefe Wahrheit ausgedrückt. Die Kraft, welche die Erde in der Nähe der Sonne festhält, kennen wir gut, weil sie Gegenstand unserer täglichen Erfahrung ist. Aber die Kraft, welche die Erde verhindert, in den Centralkörper ihrer Bahn zurückzufallen, welche also der Erde ihre eigenthümliche Existenz gesichert hat, liegt jenseits unserer Erfahrung; sie hat nur einmal, bei der Entstehung einer selbständigen Erde gewirkt. In der Bewegung der Erde um die Sonne drücken sich offenbar die zwei Bedingungen der Existenz jedes Körpers aufs klarste aus, nämlich der ursprüngliche Anstoß, welcher den Körper selbständig werden, entstehen ließ, und die dauernde Kraft, welche die Existenz des Körpers vorherrschend bestimmt und leitet; das volle Wesen jedes Körpers kann nur durch die gehörige Erforschung beider Bedingungen seiner Existenz recht erkannt werden. Aber entsprechen nicht die beiden Kräfte, welche die Erdbahn bestimmen, jenen zwei, die Welt bestimmenden Einwirkungen des göttlichen Wesens, die Schwerkraft dem fortdauernden, erhaltenden, der erste Anstoß dem ursprünglichen, schöpferischen Einflusse?

Digitized by Google

Wir haben bis jetzt immer zunächst von der Erde und ihrer Bewegung um die Sonne gesprochen und auf andere Himmelskörper nur beiläufig hingewiesen. Aber mit der Erde stimmen in Bezug auf die wesentlichen Punkte des Umlaufes alle Planeten überein. Ein System von zwanzig Himmelskörpern bewegt sich in elliptischen Bahnen um die Sonne. Der mittlere Abstand von dem Centralkörper, die Entfernung des Brennpunktes vom Mittelpunkte der Ellipse, die Dauer des Umlaufes um die Sonne und der Umdrehung um die eigene Axe, der Durchmesser des Körpers, die Neigung seiner Axe gegen die Ebene seiner Bahn, alle diese wichtigen Momente gestalten und combiniren sich bei jedem einzelnen Planeten wieder auf eigenthümliche Weise. Die Planeten unseres Sonnensystems zerfallen nach ihrer Lage und nach ihren wesentlichsten Eigenschaften wieder in drei Gruppen. Zu innerst stehen vier mäßig große, in 24 Stunden um sich selbst rotirende Planeten: Merkur, Venus, Erde und Mars. Dann folgen zwölf kleine Planeten, in vielfacher Rücksicht einander ähnlich, namentlich in der Zeit des Umlaufes um die Sonne, in dem geringen Unterschied ihrer Abstände von dem Centralkörper, in der Verschlungenheit ihrer Bahnen; diese Körper sind Flora, Vesta, Iris, Hebe, Asträa, Juno, Ceres, Pallas, Metis, Hygiea, Parthenope und Viktoria. Die äußerste Gruppe endlich umfaßt vier große, schnell um ihre Axe sich drehende Planeten, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.

Wir erwähnen von den Bewegungen dieser Planeten nur die wichtigsten und besonders hervorstechenden Thatsachen. Für die Entfernungen der Himmelskörper gebrauchen wir irdische Maaße; aber unsere Phantasie bleibt weit hinter der Größe dieser Entfernungen zurück; unsere irdische Erfahrung gibt uns keine Größen an die Hand, welche sich mit jenen Entfernungen irgend vergleichen ließen. Für den mittleren Abstand der Gestirne von der Sonne wählt man die Erde als Ausgangspunkt; man setzt ihre mittlere Entfernung = 1; diese beträgt 20,682,440 geographische Meilen. Merkur, der nächste Planet,

Digitized by Google

ist 8 Millionen Meilen von der Sonne entfernt. Von den zwölf kleinen Planeten hat z. B. Ceres einen mittleren Abstand von 57 Millionen Meilen. Jupiters Abstand beträgt 110 Millionen Meilen; Saturn hat 197 Millionen, Uranus 396½ Millionen, Neptun endlich 622 Millionen Abstand. Mit dieser mittleren Entfernung von der Sonne steht zunächst die Umlaufzeit der Planeten in Zusammenhang. Während diese bei der Erde 365 Tage und 6 Stunden beträgt, erreicht sie bei Merkur blos 87 Tage und 23 Stunden, bei Mars dagegen schon 686 Tage und 23 Stunden. Sie steigt in der Gruppe der kleinen Planeten, und zwar bei Pallas bis zu 1684 Tagen. Bei den vier letzten Planeten aber erreicht sie rasch noch viel höhere Zahlen, bei Jupiter 4332, bei Saturn 10,759, bei Uranus 30,686, bei Neptun 59,900 Tage.

Während der mittlere Abstand und die Umlaufzeit von Merkur bis zu Neptun ununterbrochen zunimmt, läßt sich keine ähnliche Regelmäßigkeit in den Durchmessern der Planeten und in der Dauer ihrer Umdrehung um die eigene Axe erkennen. Wir haben schon erwähnt, daß den vier innersten Planeten eine mittlere Größe zukomme. So beträgt der Durchmesser der Erde 1719 Meilen, der der Venus 1715, der des Merkurs 671 und der des Mars 884 Meilen. Die Planeten der mittleren Gruppe haben die kleinsten Durchmesser; er beträgt bei Vesta nur 66, bei Pallas 145 Meilen. Unter den vier äußersten Planeten steht Jupiter obenan; er übertrifft alle seine Mitplaneten bei Weitem durch einen Durchmesser von 20,018 Meilen. Gegen Neptun hin nehmen die Durchmesser wieder etwas ab; Saturn zeigt noch 16,305, Uranus 7866, Neptun 7300 Meilen. Die Umdrehung um die eigene Axe konnte bis jetzt nur bei den größeren Planeten mit Sicherheit beobachtet werden; sie scheint im Allgemeinen bei der äußersten Gruppe der Planeten am größten zu sein. Merkur, Venus, Erde und Mars vollenden ihre Umdrehung nahezu in 24 Stunden;

Jupiter dreht sich in 9 Stunden und 55 Minuten, Saturn in 10 Stunden und 29 Minuten um ihre Axe.

Und nun, nachdem wir die allgemeinen Gesetze der elliptischen Planetenbahnen erörtert, nachdem wir von den Eigenthümlichkeiten der einzelnen Planeten das Wichtigste berührt haben, muß natürlich die Frage aufgeworfen werden: Läßt sich in diesen Eigenthümlichkeiten nicht auch wieder ein bestimmtes Gesetz auffinden? folgen die verschiedenen Abstände, die Umlaufzeiten, die Durchmesser und die Umdrehungen der Planeten nicht auch bestimmten, unveränderlichen, feste Verhältnisse ausdrückenden Zahlen? Die Beobachtungen, welche im Gebiete der Chemie und Physik gemacht worden sind, berechtigen allerdings im Reich der Gestirne zu ähnlichen Hoffnungen. Wie die Schwingungen des Schalls und des Lichtes, wie die eigenthümlichen Gewichte, mit welchen die Stoffe in ihre chemischen Verbindungen eingehen, dürften auch die Verschiedenheiten in der Bewegung der Gestirne sich durch gewisse Verhältnißzahlen ausdrücken lassen. Diese Hoffnung ist bis jetzt nur in Einer Richtung in Erfüllung gegangen. Es ist gelungen, die Abstände der Planeten durch Zahlen auszudrücken, welche eine geometrische Progression bilden. Setzen wir den Abstand der Erde von der Sonne = 10, so ergibt sich für die Planeten folgende Reihe:

Merkur	=	4						
Venus	=	7	=	4	+	3		
Erde	=	10	=	4	+	2	mal	3
Mars	=	16	=	4	+	4	mal	3
Kleine Planeten	=	28	=	4	+	8	mal	3
Jupiter	=	52	=	4	+	16	mal	3
Saturn	=	100	=	4	+	32	mal	3
Uranus	=	196	=	4	+	64	mal	3
Neptun	=	388	=	4	+	128	mal	3

Dieses Gesetz ist zuerst von Bode aufgestellt worden; es drückt die Wirklichkeit, wenn auch nicht mit völliger Schärfe, doch

Digitized by Google

sehr annähernd aus. Wir dürfen hoffen, daß auch für die übrigen Eigenschaften der Planeten sich ähnliche Gesetze werden auffinden lassen.

Die sechszehn Planeten, welche in elliptischen Bahnen die Sonne umkreisen, stellen zum Theil selbst wieder Mittelpunkte dar, um welche andere, kleinere Himmelskörper, die Monde oder Trabanten, elliptische Wege beschreiben. Solche Monde fehlen den kleinen, mittleren Planeten vollständig; sie kommen unter den vier mittelgroßen, inneren nur bei der Erde vor; aber unter den vier größten, äußeren Planeten fehlen sie keinem. Wir müssen auch hier wieder unsern Erdenmond als Ausgangspunkt nehmen; alle Erdenbewohner sind mit seiner Gestalt, mit seinem Auf- und Untergehen wohl vertraut. Unser Mond ist von der Erde im Mittel 51,803 Meilen entfernt; er vollendet seinen Umlauf in 27 Tagen und 7 Stunden. Sein Durchmesser beträgt 468 Meilen. Wie die Erde und alle Planeten, dreht er sich auch um seine eigene Axe; diese Umdrehung dauert gerade so lang als sein Umlauf um die Erde, und es folgt daraus, daß der Mond während seines Umlaufes der Erde immer dieselbe Seite zukehrt, daß also, seit Menschen auf der Erde leben, diese immer nur die eine Hälfte des Mondes zu Gesicht bekommen haben.

Von den übrigen Trabanten sind die Jupitersmonde noch am besten bekannt; sie sind vier an der Zahl; zwei von ihnen beschreiben Bahnen, welche nicht merklich vom Kreise abweichen. Der äußerste dieser Monde ist 260,450 Meilen vom Jupiter entfernt; diese Entfernung verhält sich zum Abstande des Jupiters von der Sonne = 1 : 400, und es muß auffallen, daß ganz dasselbe Verhältniß zwischen der Entfernung des Mondes von der Erde und dem Abstand der Erde von der Sonne stattfindet. Auch in anderen Beziehungen stimmen die Jupitersmonde mit dem Erdenmond überein; wie dieser, drehen sie sich um ihre Axe, und eine solche Umdrehung dauert bei jedem der vier Monde gerade so lang als seine Umlaufzeit um

Digitized by Google

den Hauptplaneten. Dagegen sind die Umlaufzeiten der Jupitermonde trotz der größeren Abstände entschieden kleiner, als die Umlaufzeit des Erdenmonds; sie steigen von 1 Tag und 18 Stunden beim innersten bis zu 16 Tagen und 18 Stunden beim äußersten jener Trabanten. Von den sieben Trabanten des Saturns läßt sich schon viel weniger sagen. Der äußerste ist vom Planeten 524,686 Meilen entfernt, $^1/_{376}$, also nahezu $^1/_{100}$ von dem Abstande des Saturns von der Sonne. Die Umlaufzeit beträgt beim innersten 22 Stunden, beim äußersten etwas mehr als 79 Tage. Auch Uranus besitzt mehrere Monde; aber bis jetzt sind nur zwei von diesen mit Sicherheit bekannt. Endlich hat Neptun in den vier Jahren, welche seit seiner Entdeckung verstrichen, schon zwei Trabanten mit ziemlicher Sicherheit erhalten.

Nehmen wir die Sonne als den ruhenden Centralkörper eines Systems von Himmelskörpern an, so kreisen um sie vor Allem zwei Ordnungen von Gestirnen, Planeten und Monde. Ihre Bahnen sind elliptisch, aber immer vom Kreise nicht sehr abweichend, bisweilen vom Kreise gar nicht unterscheidbar. Licht und Wärme erhalten alle nur von dem großen Centralkörper; aber die Kraft der Schwere findet in jedem Gestirn wieder eine Stelle für ihre Wirksamkeit. Wie die Schwerkraft alle Planeten in der Nähe der Sonne erhält, so fesselt sie die Monde wieder an ihre Planeten, so hält sie endlich die ganze Masse jedes Planeten und jedes Mondes um ihre Mittelpunkte fest. Unter allen Bahnen der Gestirne sind die Bahnen der Planeten und Monde uns am besten bekannt. Hier geschehen die Bewegungen in Zeiträumen, welche der menschlichen Erinnerung und Berechnung zugänglich sind; sie erstrecken sich über Gebiete, welche das menschliche Auge mit Hilfe scharfer Instrumente zu überschauen vermag. Die verschiedenen Momente, welche diese Bewegungen bestimmen, sind einfach und zugänglich genug, um Berechnungen von größter Schärfe zuzulassen. Endlich bewohnen wir einen Himmelskörper, welcher mitten in

Digitized by Google

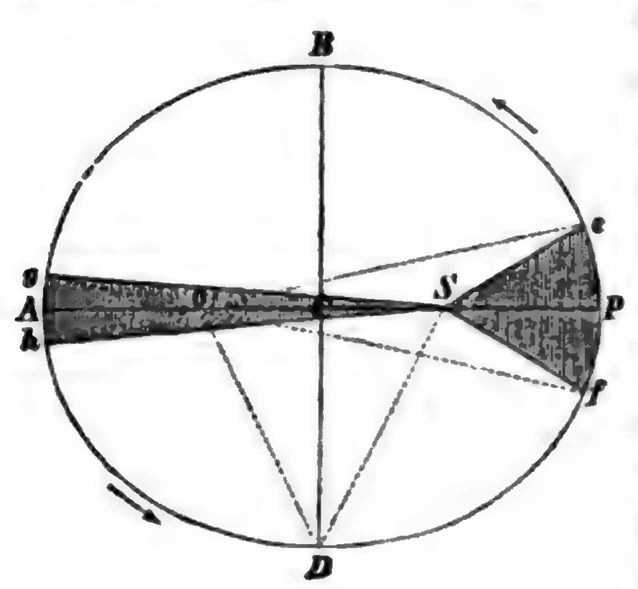
diesem Sonnensysteme sich bewegt; wir sind nicht in den öden, unbevölkerten Weltraum, sondern auf eine Warte gestellt, von welcher wir die innere Ordnung des Sonnensystems aufs beste zu beobachten vermögen.

In dieses wohl geordnete, ruhig bewegte System von Sternen sind zu verschiedenen, oft wiederholten Malen die Kometen wie unerwartete Fremdlinge aus fernen Himmelsräumen eingetreten. Wir müssen aber auch diese scheinbar fremdartigen Himmelskörper zu dem Systeme unserer Sonne rechnen; sie erhalten ihr Licht aus Einer Quelle mit den Planeten und Monden. Statt der gleichförmigen, scharf begränzten, kugeligen Gestalt der Planeten und ihrer Monde zeigen sie einen Kern, der von einer glänzenden, vielfach gestalteten, oft als Schweif ausgezogenen Nebelhülle umgeben ist. An Zahl übertreffen sie bedeutend die jetzt bekannten Planeten. Gegen 500 Kometen sind in glaubwürdigen Berichten aufgezeichnet; ungefähr 180 sind so genau beobachtet, daß eine bestimmte Berechnung ihrer Bahnen möglich war. In jedem Jahr erscheinen einige Kometen, bald mit dem blosen Auge, bald nur durch Fernröhren sichtbar; die ganze Zahl der vorhandenen Kometen wird von Einigen auf 4000 und darüber geschätzt.

Die Bahnen der Kometen weichen in manchen Rücksichten von den Bahnen der Planeten und Monde ab; es ist nur bei wenigen derselben eine genaue Berechnung gelungen. Aber die neuen, ausgedehnten Untersuchungen haben es fast über allen Zweifel erhoben, daß unsere Sonne der Mittelpunkt ist, um welchen sich die Kometen bewegen, daß diese nicht, wie Laplace glaubte, blose Lichtnebel darstellen, welche im Himmelsraume umherirren und bald von diesem bald von jenem Mittelpunkte angezogen, von dieser oder jener Sonne bestimmt werden, regelmäßige Bahnen um sie zu beschreiben. Man hat vielfach angenommen, die Kometen bewegen sich in Parabeln, d. h. in krummen Linien, welche langgestreckten Ellipsen ähnlich sind,

Digitized by Google

aber nicht in sich selbst zurücklaufen; in dem Brennpunkte der Parabel würde sich die Sonne befinden. Wenn diese Annahme richtig wäre, so könnten die Kometen nicht dieselbe Bahn zu wiederholten Malen regelmäßig durchlaufen, nicht an derselben Stelle des Himmels nach bestimmten Zeiträumen wieder erscheinen; sie müßten, wie Laplace gedacht hat, bald um diesen bald um jenen Centralkörper des Weltsystems sich in krummen Linien bewegen. Aber je genauer man die Bahnen der Kometen kennen lernt, desto wahrscheinlicher wird es, daß sie, so gut als Planeten und Monde, sich in Ellipsen bewegen, daß sie also nach längern oder kürzern Zwischenräumen denselben Weg durch die Räume des Himmels wieder zurücklegen. Die elliptischen Bahnen der Kometen sind nur viel gestreckter, der Abstand des Brennpunktes S vom Mittelpunkt C viel größer, daher auch der Unterschied der Linie SP von der Linie SA viel bedeutender, als in den Planetenbahnen. In S steht auch hier der Centralkörper, die Sonne; die Sonnennähe wird aber an Länge weit von der Sonnenferne übertroffen. Unsere Instrumente erreichen die Kometen nur, so lange sie der Sonne und eben damit der Erde näher sind; ihr Lauf im Aphelium ist bis jetzt der Beobachtung unzugänglich geblieben.



Diese Ansichten von dem Umlauf der Kometen gründen sich vorzüglich auf die Beobachtungen von vier solchen Weltkörpern, welche wiederholt am Himmel erschienen und deren Bahnen daher mit Genauigkeit bekannt sind. Vor Allem gehört hieher Halley's berühmter Komet mit elf zweifelhaften und sechs sichern Erscheinungen. Er wurde mit Sicherheit zuerst im Jahre 1456 beobachtet; vorher soll er 130 v. Chr., und

Digitized by Google

n. Chr. in den Jahren 323, 399, 547, 930, 1005, 1080, 1155, 1231, 1305 und 1378 erschienen sein. Nach dem Jahr 1456 wurde er 1531, 1607, 1682, 1759 und 1835 mit Gewißheit gesehen; seine Umlaufzeit beträgt also nahezu 76 Jahre. Der zweite genauer bekannte Komet wurde von Encke im Jahre 1819 berechnet; er vollendet seinen Umlauf in 3 Jahren und 113 Tagen. Der dritte dieser Kometen, welchen Biela 1826 entdeckte, hat eine Umlaufzeit von 6¾ Jahren. Der letzte endlich, von Olbers 1815 entdeckt, legt in 74 Jahren seine elliptische Bahn zurück. Diese Beispiele zeigen schon, wie höchst verschieden die Umlaufzeiten der Kometen sind. Soweit man sich auf die bisherigen Berechnungen verlassen kann, scheinen sie bei einigen bis zu 3000, bei einem vielleicht bis zu 75,000 Jahren zu steigen.

So ordnen sich auch die Kometen den allgemeinen Gesetzen unsres Sonnensystems unter. Die elliptischen Bahnen, in welchen sich Planeten, Monde und Kometen bewegen, nähern sich das einemal, wenn der Brennpunkt nicht weit vom Centrum der Ellipse abweicht, dem Kreise; das andremal rückt der Brennpunkt dem einen Ende der Ellipse viel näher, und die Bahn wird der Parabel ähnlich. Der erste Fall trifft bei den Planeten und ihren Monden zu; alle diese Körper kreisen um die Sonne in den festen Gränzen des Planetensystems. Aber die langgestreckten Bahnen der Kometen reichen nur mit dem einen, größeren oder kleineren Theile in diese Gränzen herein; der andere liegt außerhalb der Planetenbahnen, im weiten Raume des Himmels. Der Centralkörper und die wesentliche Form der Bahn sind also bei den Kometen nicht anders, als bei den Planeten und Monden; aber gegenüber von der ruhigen Bewegung der Wandersterne mußte die Erscheinung der Kometen lang als ein Eingriff in die Gesetze unseres Sonnensystems erscheinen. Der Schrecken, welcher lange beim Anblick der Kometen die Seelen der Menschen ergriff, fängt an völlig zu verschwinden. Wir begrüßen diese Himmelskörper als An-

Digitized by Google

gehörige desselben Sonnensystems; ihre Gestalten, ihre innere Zusammensetzung, ihr Umlauf geben uns über die Natur der Gestirne Aufschlüsse, welche wir von den gleichartigen, mit unserer Erde mehr oder weniger übereinstimmenden Planeten nie erhalten hätten.

Die Sonne, welche in der Mitte ihres Systemes die Bahnen der zählbaren Planeten und der ungezählten Kometenschwärme leitet, muß nach den Gesetzen der Physik alle diese untergeordneten Körper an Masse bedeutend hinter sich lassen. Sie übertrifft auch in der That die Gesammtheit dieser Körper an Masse etwa um das 720fache; der Schwerpunkt des Sonnensystems, d. h. der Punkt, um welchen sich das ganze System dreht, liegt daher in dem Sonnenkörper selbst. Der Durchmesser der Sonne gleicht 112 Erddurchmessern, nämlich 192,608 Meilen; ihre Masse ist 355,499 mal so groß als die Masse der Erde.

Während demnach die Sonne, als der weitaus mächtigste Körper ihres Systems, die Bewegungen der Planeten und Kometen bestimmt, kommt doch in untergeordneter Weise auch die Anziehung in Betracht, welche Planeten und Kometen gegenseitig, je im Verhältniß ihrer Masse, auf einander ausüben. Der größte unter allen Körpern des Sonnensystems ist nächst der Sonne Jupiter; er hat eine größere Masse als alle übrigen Planeten zusammen, und würde, wenn die Sonne plötzlich verschwände, als Mittelpunkt unseres Systemes auftreten. Jupiter wirkt daher auch am kräftigsten auf Veränderung der Planeten- und Kometenbahnen ein. Der geringste und vielleicht gar kein Einfluß kommt in dieser Beziehung den durchscheinenden, sehr wenig Masse enthaltenden Kometen zu. Aber darum erleiden auch diese von den Planeten, in deren Nähe sie vorübergehen, die bedeutendsten Ablenkungen; ihre Wiederkehr wird durch den Einfluß der Planeten nicht selten um mehrere Jahre verzögert oder beschleunigt.

Man bestimmt die Bahnen der Planeten und Kometen

Digitized by Google

zunächst nach ihrem Verhältnisse zur Sonne, als dem Mittelpunkte des Systemes; ebenso werden die Bahnen der Monde zunächst auf die Planeten bezogen, um welche die Monde kreisen. Die Berechnung der Bahnen gründet sich also vor Allem auf die Beziehungen zu dem nächsten Centralkörper, welcher einen bei weitem überwiegenden Einfluß auf Kometen, Planeten oder Monde ausübt. Gegenüber von dieser einfachsten und nicht verwickelten Berechnung erscheint nun jeder untergeordnete Einfluß eines andern Himmelskörpers als eine Verwicklung, als Störung oder Perturbation. Die Planeten, Monde und Kometen werden dadurch nicht in ungeordnete Wege hineingestoßen; sondern ihre Bahnen bleiben durchaus regelmäßig, sie gestalten sich nur etwas anders, als sie unter dem reinen, ungetrübten Einflusse des Hauptkörpers sich gestaltet hätten.

In dem Systeme unserer Sonne findet demnach eine allseitige Wechselwirkung aller einzelnen Glieder statt; je nach ihrer Masse ziehen sie an und werden angezogen. Wie in dem Leben der organischen Körper Eine Richtung, Ein Zweck alle andern überwiegt, wie z. B. das einzelne Thier vor Allem dahin strebt, die ihm wesentliche Form des Körpers mit möglichster Vollkommenheit an sich herauszubilden, so wird jedes Glied unseres Sonnensystems überwiegend von Einem Hauptkörper in seinen Bewegungen geleitet. Aber die Form des Thieres läßt neben ihren wesentlichen Eigenschaften noch vielfache Abänderungen zu, durch welche das Thier sich den Einflüssen der umgebenden Natur anpaßt; und so werden auch die Gestirne unseres Systems durch untergeordnete Einflüsse anderer Himmelskörper von der einfachsten Form ihrer Bahnen abgelenkt. Indeß erleidet weder das Thier noch eines jener Gestirne durch solche scheinbare Störungen eine wirkliche Beeinträchtigung ihrer Existenz. Erst durch die allseitige Verkettung und Beziehung aller lebenden Geschöpfe wird innerhalb der Gesetzmäßigkeit des Ganzen jene Mannigfaltigkeit erreicht, welche den Geist des Menschen entzückt, ohne die allgemeinen Regeln

zu stören. Und auf dieselbe Weise werden die Glieder unseres Sonnensystems durch ihre gegenseitigen Anziehungen zu einem Ganzen verbunden, in welchem zwar einige Hauptkörper die Richtungen und Formen der Bahnen überwiegend bestimmen, in welchem aber doch jedes Glied seinen eigenthümlichen Beitrag zu dem allgemeinen Gleichgewichte des Systemes gibt. Keine jener sogenannten Störungen wird je groß genug, um den regelmäßigen Lauf eines Gestirnes zu unterbrechen; alle sind nur Schwankungen, welche bald in dieser bald in jener Richtung geschehen und nach dem Verlauf eines bestimmten Zeitraumes wieder zu dem mittleren Maaße zurückkehren. Die Nothwendigkeit eines künftigen Unterganges der Gestirne kann daher aus diesen Störungen nicht abgeleitet werden.

In allen bisherigen Erörterungen haben wir die Sonne als völlig ruhend vorausgesetzt; und gegenüber von den Bewegungen der Planeten und Kometen kommt allerdings eine etwaige Bewegung der Sonne kaum in Betracht. Aber es würde allen unsern Erfahrungen und Begriffen von der inneren Einrichtung der Natur widersprechen, wenn wir irgendwo, also auch in unserm Sonnensysteme einen völlig ruhenden Körper uns denken sollten. Ruhe und Bewegung greifen in der Schöpfung überall ineinander; was in der einen Beziehung ein Ruhendes und Bewegendes ist, erscheint in andrer Beziehung als ein Bewegtes. Die Sonne bestimmt als Centralkörper die Bahnen der Planeten und Kometen; sie zeigt aber selbst theils eine Umdrehung um ihre Are, theils ein Fortrücken im Weltraume. Jene Umdrehung scheint, soweit man aus der Bewegung von Sonnenflecken schließen kann, ungefähr in 25 Tagen zu geschehen; die Sonne dreht sich daher schneller als die Erde, aber langsamer als Jupiter und Saturn. Im Himmelsraume bewegt sich die Sonne nur sehr langsam vorwärts; weder die Zeitverhältnisse noch die Richtung ihrer Bahn haben sich bis jetzt genau bestimmen lassen.

Die Sonne fügt unser Planetensystem dem großen Ganzen

Digitized by Google

der Sternenwelt ein. In dem ungemessenen Himmelsraume sind wir nur eine kleine Insel. Nur unser Centralkörper strahlt sein eigenes Licht bis in die Fernen des Himmels; aber das geborgte Licht der Planeten und Kometen reicht gewiß nur bis zu geringen Entfernungen; es ist sehr zweifelhaft, ob von Bewohnern entfernterer Himmelskörper außer der Sonne auch noch andere Glieder unseres Systems gesehen werden. Wir nehmen dieses insbesondere darum an, weil unter jener großen Zahl von Weltkörpern, welche außer den Körpern unseres Sonnensystems den nächtlichen Himmel erleuchten, bis jetzt kein einziger gefunden werden konnte, der in Bezug auf seine Bewegungen sich mit unsern Planeten, Kometen oder Monden hätte vergleichen lassen. Alle Sterne, die wir in den Fernen des Himmels erblicken, scheinen mit unserer Sonne darin übereinzustimmen, daß sie selbst leuchten und daß ihre Bewegungen fast unmerklich geschehen. Ob diese Sterne gleichfalls Centralkörper von Sternsystemen werden, ob sie gleichfalls andere Weltkörper durch die Kraft der Schwere in ihrer Nähe festhalten und durch ihre Ausströmungen erleuchten und erwärmen, läßt sich mit Bestimmtheit weder bejahen noch verneinen. Aber man darf es als wahrscheinlich ansehen, daß unser Sonnensystem nicht das einzige seiner Art im großen Weltraume ist. Von den Sonnensystemen des Himmels würde also nur das eigene Licht des Centralkörpers stark genug sein, um auch von fernen Weltkörpern noch gesehen zu werden; die untergeordneten, durch fremdes Licht erhellten Körper würden nur in der Nähe, im Bereiche jedes einzelnen Systemes sichtbar sein.

Alle Weltkörper, welche wir außer Planeten, Monden und Kometen am Himmel erkennen, bezeichnen wir als Fixsterne. Diese sind von uns so weit entfernt, daß sie auch durch unsere schärfsten Fernröhren nur als Punkte ohne einen wirklichen Durchmesser erscheinen. Sie werden für uns nur durch das starke, flimmernde Licht, welches sie selbst ausstrahlen, sichtbar. Zu dieser Klasse von Sternen gehört ohne Zweifel

Digitized by Google

auch unsere Sonne; wir müssen annehmen, daß sie von andern Fixsternen aus auch nur als ein leuchtender Punkt gesehen würde. Wie sollen wir aber den Uebergang von unserer Sonne zu den Fixsternen richtig bezeichnen? Wir glaubten die Entfernungen der Planeten und Kometen von der Sonne wohl mit Zahlen, aber nicht mit unserer Phantasie erreichen zu können, und gegen die Maaße, welche die Entfernungen der Fixsterne ausdrücken, kommen die Maaße unseres Planetensystems noch kaum in Betracht. Wir hielten die Tausende von Kometen für eine beträchtliche Zahl; aber wir können nicht hoffen, mit zwanzig Millionen die volle Zahl der Fixsterne auszudrücken; und doch handelt es sich hier nicht von untergeordneten, wenig massigen Weltkörpern, sondern von Sternen, welche an Größe, an Masse und an leuchtender Kraft ohne Zweifel unserer Sonne gleichstehen.

Die Kenntniß der Fixsterne ist noch in ihren ersten Anfängen begriffen. Für den einfachen Beobachter scheinen sie nichts als feststehende, unendlich weit entfernte, leuchtende Punkte des Firmamentes. Aber die mächtigen Fortschritte der Astronomie haben diese alte Ansicht umgestoßen. Von 700 Fixsternen wissen wir jetzt mit Sicherheit, daß sie sich bewegen; und wir sind berechtigt, von allen übrigen dasselbe zu vermuthen. Masse und Entfernung konnte bei einigen annähernd berechnet werden. Ueber die Anordnung der Fixsterne im Weltraume sind bis jetzt wenigstens geistvolle Ahnungen ausgesprochen worden. Wir haben ein Recht, von dem Zusammenwirken unermüdeter und gut ausgerüsteter Beobachter in nicht zu entfernter Zeit einen bedeutenden Zuwachs zu unsern bisherigen Kenntnissen zu erwarten.

Was zuerst die Entfernungen der Fixsterne von unserer Erde betrifft, so setzen wir die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne, also ungefähr 20 Millionen Meilen, wieder = 1. Ein von Bessel untersuchter Stern aus dem Sternbilde des Schwans ist von uns um 592,200 solcher Erdweiten,

Digitized by Google

d. h. um 12 Billionen Meilen entfernt. Bei einem Stern aus dem Centauren wurde die Entfernung = 223,000, bei einem Stern aus der Leier = 789,400 Erdweiten gefunden. Alcyone endlich wäre von uns nach neuen Berechnungen um 31,570,000 Erdweiten entfernt. Wir sind nicht im Stande, uns von diesen Maaßen nur eine annähernde Vorstellung zu bilden.

Die Durchmesser der Fixsterne sind, wie wir schon anführten, keiner direkten Beobachtung fähig. Wir können nur vermuthen, die Masse jener Sterne werde der der Sonne ähnlich, bald etwas größer bald etwas kleiner anzunehmen sein. Etwas sicherer sind die Beobachtungen über das Fortrücken der Fixsterne im Raume. Der oben bemerkte Stern aus dem Sternbilde des Schwans rückt im Jahre ungefähr um 11½ Erdweiten vorwärts; ähnlich dürfte sich unsere Sonne in Bezug auf ihre Fortbewegung verhalten. Aber dieser Punkt führt uns noch auf eine besondere Klasse von Fixsternen, auf die Doppelsterne.

In dem Systeme, welchem unsere Erde angehört, überwiegt die Masse des Centralkörpers so sehr die gesammten Massen aller untergeordneten Glieder, daß der Schwerpunkt des ganzen Systemes fast genau mit dem Mittelpunkte der Sonne zusammenfällt. Denken wir uns aber, statt eines massigen Centralkörpers und viel kleinerer Planeten und Kometen, zwei Weltkörper von ganz gleicher oder ähnlicher Masse zusammengruppirt, so wird ihr gemeinsamer Schwerpunkt nicht in den einen Körper, besonders nicht in den einen Mittelpunkt, sondern in die Mitte zwischen beide Körper fallen. Wie nun die Körper unseres Sonnensystems um ihren gemeinsamen Schwerpunkt, nämlich um den Mittelpunkt der Sonne, kreisen, so werden sich auch jene beiden Körper um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen; jeder wird von dem andern angezogen, jeder beschreibt seine Bahn gegen seinen Nebenkörper hin; aber derjenige Punkt, von welchem eigentlich die Bahn bestimmt wird,

Digitized by Google

liegt zwischen beiden Körpern; er befindet sich nur, je nach der Masse, bald dem einen bald dem andern jener Körper näher.

Dieser Fall trifft bei den Doppelsternen ein. An verschiedenen Stellen des Firmaments findet man zwei, bisweilen auch drei und mehrere Fixsterne einander so genähert, daß sie mit blosem Auge für Einen Stern gehalten werden. Alle diese vielfachen Sterne sind selbstleuchtende Punkte; sie stehen zu einander nicht in dem Verhältnisse wie Sonnen und Planeten. Gleich den übrigen Fixsternen rücken sie mit einander im Himmelsraume weiter; aber außerdem bewegen sich zwar nicht alle, doch viele derselben um einen gemeinsamen Schwerpunkt. In der Regel ist einer der Doppelsterne an Lichtstärke und daher wohl auch an Größe überwiegend; dieser beschreibt, da ihm der Schwerpunkt näher liegt, eine kleinere Bahn, als der lichtärmere, kleinere Stern, und man nimmt daher gewöhnlich zur Vereinfachung an, daß nur dieser sich um den ersteren bewege. Die Bahnen scheinen immer Ellipsen zu sein. Bis jetzt sind über 3000 Doppelsterne nach ihrem Orte und ihren allgemeinen Eigenschaften mit Bestimmtheit bekannt; aber nur bei sehr wenigen gelang es, die Bahn mit einiger Sicherheit zu berechnen. Dahin gehört vor Allem der öfter bemerkte Stern aus dem Sternbilde des Schwanes; diesem ist ein kleinerer beigeordnet, welcher seine Bahn in 540 Jahren zurücklegt. Bei andern dauert der Umlauf nur 92 oder 43 Jahre.

Hier finden wir also nicht Planeten, die um eine Sonne kreisen, sondern selbstleuchtende, massige Sonnen, welche um ihren gemeinsamen Schwerpunkt sich bewegen. Die Gesetze der Schwere, welche Newton für die Bahnen der Planeten und Monde nachwies, gelten auch für diese Bewegungen der Doppelsterne; die Ellipse behauptet auch hier, wie bei Planeten, Monden und Kometen, ihre Geltung. Und jetzt vermissen wir nur noch die Anwendung der allgemeinen Gesetze auf das Fortrücken der Fixsterne im Himmelsraume. Wir vermissen noch den Nachweis, daß alle Sonnen des Firmamentes, daß alle

Digitized by Google

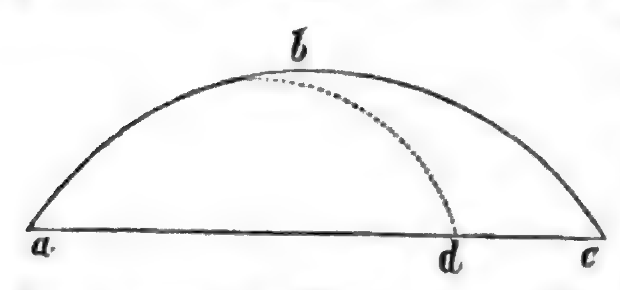
Planetensysteme in einer allseitigen Wechselwirkung mit einander stehen. Wohl strahlen Millionen von Sonnen ihr Licht nach allen Seiten bis zu den größten Fernen des Weltraumes aus; aber wie wir in unserm Planetensysteme die Sonne als Centralkörper unterscheiden, wie wir außerdem alle Glieder jenes Systems sich mit geringerer Stärke wechselseitig anziehen sehen, so treibt uns ein innerer, geistiger Drang, für alle Sonnen des Fixsternhimmels auch einen gemeinsamen Mittelpunkt der Bewegung und ein allseitiges Band der gegenseitigen Anziehung aufzufinden. Bis jetzt ist es der Wissenschaft noch nicht möglich gewesen, dieses Bedürfniß unseres Geistes zu befriedigen. Die Versuche, welche insbesondere den Mittelpunkt unseres Fixsternhimmels zu bestimmen strebten, haben bei den Astronomen noch keine allgemeine Anerkennung erhalten. Wir müssen uns für jetzt mit dem Wunsche und der Hoffnung begnügen, es werde den erfolgreichen Bestrebungen der Beobachter gelingen, auch diese letzte und höchste Aufgabe ihrer Lösung entgegenzuführen. Dann wird unsere Sonne, dann werden alle Fixsterne nicht mehr wie einzelne leuchtende Punkte in dem dunklen Weltraum zerstreut zu liegen scheinen; sondern ein gemeinsames Gesetz wird ihre Bewegungen zu jener Harmonie verbinden, welche schon die Weisen des Alterthums geahnt hatten.

Wir haben jetzt die Bewegungen der Gestirne vollständig erörtert; wir haben Planeten, Monde, Kometen und Fixsterne in dieser Beziehung untersucht. Aber Eine Frage blieb bisher noch ganz unberührt. Alle Bewegungen, welche an unserer Erdoberfläche erfolgen, dauern nicht ununterbrochen mit derselben Energie fort, sondern erleiden einen Widerstand, welcher mit der längeren Dauer der Bewegung wächst und diese entweder blos verlangsamt oder endlich völlig aufhören macht. Dahin gehört insbesondere der Widerstand unsrer atmosphärischen Luft. Körper, welche aus einer gewissen Höhe auf den Erdboden herabfallen, erreichen diesen langsamer, fallen langsamer als im luftleeren Raume. Der Pendel, welcher für sich ununterbrochen

nach beiden Seiten ausschwingen würde, hört wegen des Widerstandes der Luft allmählig auf zu schwingen. Dahin gehört ferner die Reibung, welche jeder Körper bei seiner Fortbewegung auf dem Erdboden erfährt, welche das Herabrollen einer Kugel auf einer geneigten Ebene verlangsamt. Erleiden die Himmelskörper bei ihrer Bewegung im Weltraume keinen solchen Widerstand? sind ihre Zwischenräume völlig leer, von gar keinem Stoffe erfüllt?

Man hat lange angenommen, die Bewegungen der Himmelskörper geschehen ohne irgend eine Hemmung oder Verlangsamung im leeren Raume; oder es sei höchstens zwischen ihnen ein Stoff vorhanden, welcher, wie der hypothetische Lichtäther, sowohl alles Gewichtes als jeder Widerstandfähigkeit entbehre. Aber wir verdanken Encke die erste Andeutung, daß das Medium, in welchem die Weltkörper sich fortbewegen, doch kein völlig widerstandloses sei. An dem Kometen, welcher Encke's Namen trägt, hat dieser Astronom nachgewiesen, daß nur durch einen solchen widerstrebenden, den Weltraum ausfüllenden Stoff gewisse Abweichungen der Bahn erklärt werden können.

Denken wir uns, um an alltägliche Erfahrungen anzuknüpfen, an der Erdoberfläche einen Stein schief in die Höhe geworfen, so erhält dieser eine mittlere Richtung, welche durch den zuerst mitgetheilten Stoß und durch die fortwirkende Kraft der Schwere zugleich bestimmt wird; jener treibt den Stein vorwärts; die Schwere zieht ihn gegen die Erde hin.



Diese Bewegung ist in ihren Bedingungen der Bewegung der Planeten und Kometen ähnlich; der Stein beschreibt auch, wie diese, eine krumme Linie; er steigt anfangs schief in die Höhe und fällt dann schief zur Erde herab. Wenn nun der geworfene Stein gar keinen Widerstand von der umgebenden Luft erfahren würde, so wäre seine Bahn ein Bogen a b c, dessen aufsteigender Ast a b dem absteigenden

Digitized by Google

b c völlig gliche; der Stein würde in derselben Zeit, in welcher er seine größte Höhe erreicht, auch von dieser wieder auf die Erde herabfallen. Aber der Widerstand der Luft verändert diese Bahn; er macht die Strecke, welche der Stein zurücklegt, den Bogen, welchen er beschreibt, kürzer; er verkürzt insbesondere den absteigenden Ast des Bogens. Der Stein fällt schon bei d, also früher zur Erde, als er vermöge des ihm mitgetheilten Stoßes eigentlich sollte. So hemmt also die Luft die Fortbewegung des Steines; sie wirkt dem Stoße, welcher den Stein in Bewegung gesetzt hat, entgegen und gibt ebendamit der Schwerkraft, welche den Stein fortwährend zur Erde zieht, das Uebergewicht.

Setzen wir statt des Steines einen Kometen, so bewegt diesen zugleich der anfängliche, in der Tangente wirkende, unerklärte Stoß und die fortdauernde Schwerkraft, deren Wirkung vom Mittelpunkte der Sonne ausgeht. Findet sich nun im Weltraume ein widerstandfähiger Stoff, so kann dieser die Bewegung des Kometen aufhalten. Auch hier wird der Widerstand die eine Kraft, nämlich die Centrifugalkraft, vermindern und der Schwerkraft das Uebergewicht verleihen; der Komet wird seinem Centralkörper, der Sonne, allmählig näher kommen. Da in allen elliptischen Bahnen die Geschwindigkeit der Bewegung in der Sonnennähe zunimmt, so wird der Komet, je mehr er sich der Sonne nähert, sich desto rascher bewegen. So verhält es sich in der That bei dem Encke'schen Kometen. Dieser erhält für jeden Umlauf, welcher 1208 Tage dauert, eine Beschleunigung von 6 Stunden. Diese Thatsache wird am einfachsten durch die Annahme erklärt, daß der Komet sich in einem widerstandfähigen Medium bewege.

Ueber die Natur dieses Mediums ist es völlig unmöglich irgend etwas Genaues auszumachen. Es erfüllt wahrscheinlich den ganzen Himmelsraum, in welchem sich unser Sonnensystem mit Planeten, Monden und Kometen, in welchem sich außerdem alle Fixsterne befinden. Sein Widerstand gegen die Be-

wegungen der Himmelskörper ist äußerst gering: er ist bei den Planeten und Monden noch gar nicht bemerkt worden. Aber auf die Bewegungen der Kometen vermag jenes Medium wegen der höchst geringen Masse dieser Körper merklich einzuwirken. Wir müssen daher dem Stoff, welcher die Zwischenräume der Himmelskörper ausfüllt, eine so dünne Beschaffenheit zuschreiben, daß uns zu ihrer näheren Bestimmung jedes Maaß abgeht; die dünnsten Gasarten, welche an unsrer Erdoberfläche vorkommen, können mit diesem Medium noch keinen Vergleich aushalten.

Nehmen wir indeß einmal an, daß im Himmelsraume ein Stoff vorhanden sei, welcher die Bewegungen der Kometen beeinträchtigt, so muß fast mit Nothwendigkeit zugegeben werden, daß jener Stoff auch auf die Bewegungen der übrigen Himmelskörper nicht ganz ohne Einfluß sein könne. Was bei den Kometen in kürzeren Zeiträumen eine merkliche Wirkung hervorbringt, das müßte die massigeren Monde und Planeten, die noch größeren Sonnen oder Firsterne nach viel längerer Zeit, erst nach Tausenden von Jahren merklich in ihren Bewegungen stören. Die Zeitdauer kommt aber nicht in Betracht, wenn einmal die Nothwendigkeit einer Einwirkung zugegeben ist; an Sonnen, Planeten und Monden würde dasselbe nur unendlich langsamer geschehen, als an den Kometen.

Wenn nun Firsterne, Planeten und Monde durch das Medium des Himmelsraumes zwar langsamer, aber eben so sicher, als die Kometen, in ihren Bahnen gestört werden, so rücken sie gleich diesen allmählig den Brennpunkten ihrer Bahnen näher. Es läßt sich die Folgerung nicht abweisen, daß in der Zukunft alle diese Himmelskörper mit den Brennpunkten ihrer Bahnen zusammenfallen werden. Dieses wäre das Ende unseres ganzen Weltsystemes. Aber wann dieses Ende eintreten, und ob es gerade auf diese Weise erfolgen werde, liegt völlig außer unsrer Berechnung. Wir begnügen uns für jetzt, wahr-

Digitized by Google

scheinlich gemacht zu haben, daß auch den Bewegungen des Firmaments zum voraus ein Ende gesetzt ist.

2) **Ausstrahlung von Licht und Wärme.** Nächst der Elektricität pflanzt sich das Licht mit der größten Geschwindigkeit im Raume fort. Wir bemerken seine Fortbewegung mit unserem Auge gar nicht; denn eine Geschwindigkeit von 42,000 Meilen in der Sekunde entgeht völlig unserer Wahrnehmung. Daher scheint die Sonne, sobald sie über den Horizont emporsteigt, in demselben Augenblicke ihre Strahlen nach allen Seiten hin ausgesendet zu haben; zwischen dem Ausströmen des Lichtes aus seiner Quelle und zwischen seiner Ankunft an der Erdoberfläche scheint gar kein Zwischenraum zu liegen. Diese scheinbare Unabhängigkeit von Zeit und Raum verliert das Licht sogleich, wenn wir die Fortpflanzung seiner Wellen im Bereiche unseres Sonnensystems betrachten. Es braucht vom Monde zur Erde nur 1 $^1/_4$ Sekunde; aber den Raum zwischen Sonne und Erde durchläuft es in 498 Sekunden; es gelangt vom äußersten Planeten, vom Neptun, nach vier bis fünf Stunden, von einigen Kometen erst nach mehreren Tagen auf unsere Erdoberfläche.

Die Geschwindigkeit des Lichtes wird aber dann zum besten Maaßstabe für die Entfernungen der Firsterne. Wenn auch unsere Phantasie unter allen Umständen weit hinter den Maaßen des Himmelsraumes zurückbleibt, so ist doch die Geschwindigkeit des Lichtes hier ein passenderer Ausdruck, eine brauchbarere Grundlage der Vergleichung, als unsere geographische Meile, von welcher wir oft Billionen bedürfen, um die Größe der Entfernungen zu erschöpfen. Von dem Sterne in dem Sternbilde des Schwans, welcher öfters erwähnt wurde, erhalten wir das Licht erst nach 9 Jahren und 3 Monaten, von einem Stern in der Leier erst nach 12 Jahren und 1 Monat. Bei Alcyone soll die Zeit des Lichtes 498 Jahre betragen. Unserer ganzen Firsternwelt endlich, um welche die Milchstraße als ein

Digitized by Google

leuchtender Ring von Sternen sich legt, wird ein Durchmesser zugeschrieben, den das Licht in 8000 Jahren durchläuft; gegen 4000 Jahre sind nöthig, damit das Licht von den äußersten Gegenden der Milchstraße bis zum Mittelpunkte unserer Sternenwelt gelangt.

So reicht selbst die Geschwindigkeit des Lichtes nicht hin, um die großen Entfernungen des Himmelsraumes weniger merklich zu machen; vielmehr ist gerade das Licht am meisten geeignet, das Ungeheure dieser Entfernungen klar zur Anschauung zu bringen. Während wir, so weit unser Auge an der Erdoberfläche reicht, fast in Einem Augenblicke die gegenwärtige Gestalt aller umgebenden Körper überschauen, führt das Licht schon von den entfernteren Planeten und Kometen, noch mehr aber von den Fixsternen uns Bilder zu, welche nicht dem gegenwärtigen, sondern einem vergangenen Zustande jener Himmelskörper entsprechen. Hier, im weiten Himmelsraum, wird das Licht zu einem trägen Boten, welcher uns längst Vergangenes verkündet. Wenn ein Strahl von den äußersten Sternen der Milchstraße fast 4000 Jahre bedarf, um zu unserer Erde und zu unserem Auge zu gelangen, wer bürgt uns dafür, daß Welten, welche wir jetzt erblicken, in dem jetzigen Augenblicke gar nicht mehr oder wenigstens nicht mehr in diesem Zustande existiren, daß erst in Tausenden von Jahren auf die Erde Kunde gelangen wird, was die Gestalt und die allgemeinen Verhältnisse jener Himmelskörper im jetzigen Augenblicke sind. Unsere Phantasie, unser Verstand müssen vor diesen Maaßen der Schöpfung verstummen. Was auf der Erde uns fast über Zeit und Raum erhaben erscheint, sinkt im Reich der Gestirne zu einem schwachen, beschränkten, endlichen Werkzeuge des ewigen Meisters herab.

Die Natur des Lichtes bleibt in unserer ganzen Fixsternwelt überall dieselbe. Wie seine Geschwindigkeit nirgends weder zu- noch abnimmt, so muß auch hier, wie an der Erdoberfläche, zwischen eigenem und reflektirtem Lichte unterschieden

Digitized by Google

werden. So strahlt unsere Sonne von ihrer Oberfläche eigenes Licht aus, und das Licht, mit welchem Planeten, Monde und Kometen glänzen, darf nur als geborgtes, reflektirtes Sonnenlicht angesehen werden. So ist das Licht der einzelnen Fixsterne und der Doppelsterne ohne Zweifel ein ursprüngliches, von ihnen selbst erzeugtes.

Die Farbe des Sternenlichtes ist nicht überall dieselbe. Im Allgemeinen herrscht das weiße Licht vor, wie es unsere Sonne ausstrahlt. Aber einzelne Fixsterne zeigen auch rothes, gelbes, bläuliches, grünliches Licht; ebenso erscheint das zurückgeworfene Licht der Planeten bisweilen anders als weiß, so bei Mars roth, bei Jupiter hellgelb, bei Saturn mattröthlich.

Dann bleibt das Licht einiger Sterne sich nicht immer gleich. Dahin gehören die bekannten Flecken der Sonne, dunklere Stellen ihrer Oberfläche, welche einen Durchmesser von 10,000 Meilen und darüber, bisweilen von 60,000 Meilen zeigen. Sie haben eine unregelmäßige Form; von Zeit zu Zeit wachsen sie oder werden kleiner, schmelzen zusammen oder treten auseinander. Sie liegen zu beiden Seiten und in einiger Entfernung vom Aequator der Sonne; ihre Mitte ist am dunkelsten; am Rande werden sie von helleren, graulichen Höfen begränzt. Außer ihren zufälligen Verschiebungen lassen sie ein regelmäßiges Fortrücken erkennen, welches mit der Axendrehung der Sonne in Zusammenhang gebracht wird. In der Nähe dieser Flecken finden sich in der Regel andere Stellen, welche sich durch ein besonders helles Licht auszeichnen, die sogenannten Sonnenfackeln. Eine Erklärung dieser Phänomene kann erst später versucht werden, wenn von dem wahrscheinlichen Bau der Sonne die Rede ist. Hier schließen wir aber die Erwähnung der veränderlichen Fixsterne an. Diese zeigen eine zeitweise Ab- und Zunahme ihrer Lichtstärke. Der Wechsel geschieht meistens in unregelmäßigen Zwischenräumen; ihr Licht ist in der Regel roth, selten weiß. Die Ursache dieser Abwechslung ist schwer zu ergründen; vielleicht liegt sie darin,

Digitized by Google

daß jene Fixsterne, wie unsere Sonne, nicht mit ihrer ganzen Oberfläche gleich stark leuchten, und daß sie bei einer Umdrehung um die eigene Axe unserm Auge bald eine lichtreichere bald eine lichtärmere Oberfläche zukehren. Vielleicht laufen aber auch dunkle Planeten um die veränderlichen Sterne und bringen, wie bei unsrer Sonne, von Zeit zu Zeit theilweise Verfinsterungen hervor. Der äußerste Grad von Veränderlichkeit tritt bei jenen Fixsternen ein, welche zu gewissen Zeiten plötzlich erschienen und dann wieder verschwunden sind. Einen solchen, sehr hellen Stern sah Tycho plötzlich im Jahre 1572 in der Cassiopeja erscheinen; er verschwand wieder 1574; aber es ist nicht unwahrscheinlich, daß er schon früher, in den Jahren 945 und 1260 vorübergehend gesehen worden war. Aehnliche Beobachtungen sind auch von andern Astronomen, namentlich von Kepler, gemacht worden.

Diese Veränderungen der Fixsterne klingen wie eine vereinzelte Kunde, wie unzusammenhängende Nachrichten aus den Fernen des Himmelsraumes zu uns herüber. Sie berechtigen uns nur zu der Vermuthung, daß die Fixsterne in Bezug auf ihre Lichtverhältnisse unserer Sonne ähnlich seien, daß sie, wie diese, keine gleichförmig leuchtende Oberfläche besitzen, und daß dunkle Planeten um sie kreisen, welche für unser Auge einen Theil ihrer leuchtenden Oberfläche von Zeit zu Zeit verhüllen. Ueber das Erscheinen und Verschwinden von Fixsternen läßt sich noch weniger Bestimmtes sagen; vielleicht sind auch diese Himmelskörper nur vorübergehend von andern, dunklen Massen verhüllt worden; vielleicht erfährt aber auch die leuchtende Kraft der Fixsterne im Laufe der Jahrhunderte Abänderungen und Unterbrechungen, für welche uns jede Analogie aus den Beobachtungen unserer Sonne abgeht. So weit unsere Kenntnisse jetzt reichen, sind wir in der Beurtheilung der Lichtverhältnisse der Gestirne fast ganz an unser Sonnensystem gewiesen.

Hier gilt nun die Regel, daß der Centralkörper, welcher den Schwerpunkt des ganzen Systemes darstellt, auch die

Digitized by Google

hauptsächliche Quelle des Lichtes für Planeten, Monde und Kometen ist. An der Oberfläche unserer Erde kann eine selbständige Lichtentwicklung vorkommen; es kann z. B. das Nordlicht seine Helle über weite Strecken der Erde verbreiten; aber für andere Himmelskörper ist dieses selbständige Licht der Erde oder anderer Planeten und Kometen kaum von einiger Bedeutung. Die Lichtstrahlen, welche von den untergeordneten Gliedern unseres Sonnensystems zu uns gelangen, sind nichts Anderes als zurückgeworfene Sonnenstrahlen. Daher kommt es, daß diejenigen Planeten, welche von der Sonne am weitesten entfernt sind, insbesondere Neptun und Uranus, auch mit dem schwächsten Lichte leuchten, daß Merkur an Lichtstärke selbst die Erde bedeutend übertrifft, daß endlich die Kometen um so heller leuchten, je näher sie der Sonne kommen.

Mit den Lichtstrahlen gelangen zu den untergeordneten Gliedern unseres Systemes auch die Wärmestrahlen der Sonne. Wir wissen nicht, wie sich die einzelnen Planeten, Monde und Kometen in Bezug auf ihre Wärmecapacität (S. 92) verhalten. Aber so viel läßt sich doch annehmen, daß die Erwärmung mit der Entfernung von der Sonne abnehme, daß Merkur an seiner Oberfläche stärker erwärmt werde als alle übrigen Planeten. Wie die Lichtstrahlen an der Oberfläche der dunklen Körper unseres Systemes zurückgeworfen werden, so scheint es, nur in viel geringerem Grade, auch mit den Wärmestrahlen zu geschehen. Neue Untersuchungen haben mit Entschiedenheit gezeigt, daß z. B. die Strahlen des Mondes auch eine sehr geringe erwärmende Kraft besitzen.

Wir werden später anführen, daß die Wärme, welche die Erde an ihrer Oberfläche und in ihrem Innern zeigt, durchaus nicht blos von den erwärmenden Strahlen der Sonne herrührt, daß vielmehr das Innere, der Kern des Erdkörpers selbst sich fortwährend und selbständig auf einem sehr hohen Temperaturgrade befindet. Vielleicht ist dasselbe wenigstens bei allen Planeten der Fall. Es ist ganz der allgemeinen Natur

Digitized by Google

der Wärme angemessen, daß sie in dem Systeme, welchem unsere Erde angehört, zugleich als eine allgemeine und als eine besondere Erscheinung, zugleich als Ausstrahlung des Centralkörpers und als Erzeugniß der untergeordneten Himmelskörper erscheint.

Das Licht weicht auch hier von der Wärme wesentlich ab. Als eine umfassende Erscheinung entspringt es aus dem Gestirn, welches als Mittelpunkt alle anderen Glieder des Systems in seiner Nähe festhält. Es strahlt weithin durch die Räume des Himmels, und bringt nicht blos den Planeten Kunde vom Centralkörper; sondern auch jeden Planeten, Kometen und Mond verknüpft es mit allen übrigen durch die zurückgeworfenen Strahlen, welche der eine zum andern hinübersendet. Die Strahlen der Wärme hingegen bringen nur insoweit deutliche Effekte an der Oberfläche der Himmelskörper hervor, als sie von dem Centralkörper selbst erregt werden. Schon diejenigen Wärmestrahlen der Sonne, welche unser Mond zurückwirft, werden an unserer Erdoberfläche nur durch feine Werkzeuge erkannt; und von entfernteren Planeten, Monden oder Kometen können uns kaum Wärmestrahlen zukommen. Daher erfahren wir auch nichts von den Wärmeverhältnissen der übrigen Glieder unsres Systemes; jedes regelt seine Temperatur zugleich nach allgemeinen und nach eigenen Bedingungen, und fügt der von außen empfangenen Wärme noch diejenige hinzu, welche es in seinem eigenen Innern hervorbringt. Universelles und Individuelles sind bei der Erwärmung der Körper unseres Systemes innig verkettet; in ihrer Beleuchtung behauptet das Universelle unbedingt den Vorrang. Was wir früher im Allgemeinen von der Natur des Lichtes und der Wärme berichtet hatten, tritt hier aufs Großartigste und Klarste in die Erscheinung. Jede neue Thatsache aus dem Reiche der Gestirne bringt neue Bestätigung für die Gültigkeit der allgemeinen Naturgesetze.

Digitized by Google

3) Die innere Zusammensetzung und die äußere Gestalt der Gestirne. In der Bewegung, in den Licht- und Wärmeverhältnissen der Himmelskörper wiederholen sich also nur die umfassenden Gesetze, welche überhaupt für das Wirken der Naturkräfte gelten. Nirgends sind diese Kräfte in so klarer Weise und nach einem so großen Maaßstabe thätig, wie im Reiche der Gestirne. Die unbedingte Herrschaft der Schwere und das umfassende Wirken des Lichtes kommen hier vorzüglich zur Anschauung. Aber nachdem die Gültigkeit der allgemeinen Gesetze nachgewiesen ist, so drängt sich eine zweite Seite der Betrachtung hervor. Die eigenthümliche Natur der einzelnen Gestirne muß gegenüber den allgemeinen Gesetzen ins Auge gefaßt werden; sie hatte sich in der Art der Bewegung, in der Entwicklung von Licht und Wärme schon mehrfach geäußert, aber jetzt möchten wir diese Eigenthümlichkeit recht zum Mittelpunkte unserer Betrachtung wählen. Die besondere Natur der einzelnen Gestirne soll, so weit die Beobachtungen reichen, vor dem Auge der Leser vorüberziehen; aber als Resultat soll aus allen Verschiedenheiten nicht ein unordentliches Gemenge, sondern die wesentliche Harmonie der verschiedenartigen Gestirne erkannt werden.

Wir haben als Gegenstand dieses Artikels die innere Zusammensetzung und die äußere Gestalt der Gestirne bezeichnet; diese zwei Punkte sind es, in welchen sich überall die Eigenthümlichkeit der einzelnen Körper vorzüglich äußert.

Wenn ein Körper, sei es ein Himmelskörper, ein Mineral, eine Pflanze oder ein Thier, so geschildert werden soll, daß er sich leicht von allen übrigen Körpern unterscheiden lasse, so ist vor allem darauf Rücksicht zu nehmen, wie er sich in Bezug auf seine Cohäsion verhält, ob er fest, flüssig oder gasförmig, oder aus Substänzen von verschiedener Cohäsionsform gemengt ist, — dann, welches specifische Gewicht ihm zukommt, und wie in ihm die chemischen Gegensätze sich äußern, d. h. aus welchen chemischen Grundstoffen der Körper zusammenge-

Digitized by Google

setzt ist. Nach diesen Punkten folgt die äußere Gestalt des Körpers; im gemeinen Leben sind wir sogar gewöhnt, alle Geschöpfe schon an dieser Gestalt zu unterscheiden, ohne vorher nach dem innern Verhalten zu fragen. In der Gestalt drückt sich die eigenthümliche Natur jedes Geschöpfes am klarsten aus. Sie hängt mit der innnern Zusammensetzung wesentlich zusammen; sie greift in alle Thätigkeiten des Geschöpfes passend ein; aber ihr Grund liegt weder in der Zusammensetzung noch in den Thätigkeiten. Sie tritt uns wie etwas sich von selbst Verstehendes entgegen; aber bei näherer Betrachtung erkennen wir sie als ein undurchdringliches Räthsel. Die Reihe der Gestalten beginnt für uns mit den einfachsten, mit den Gestirnen.

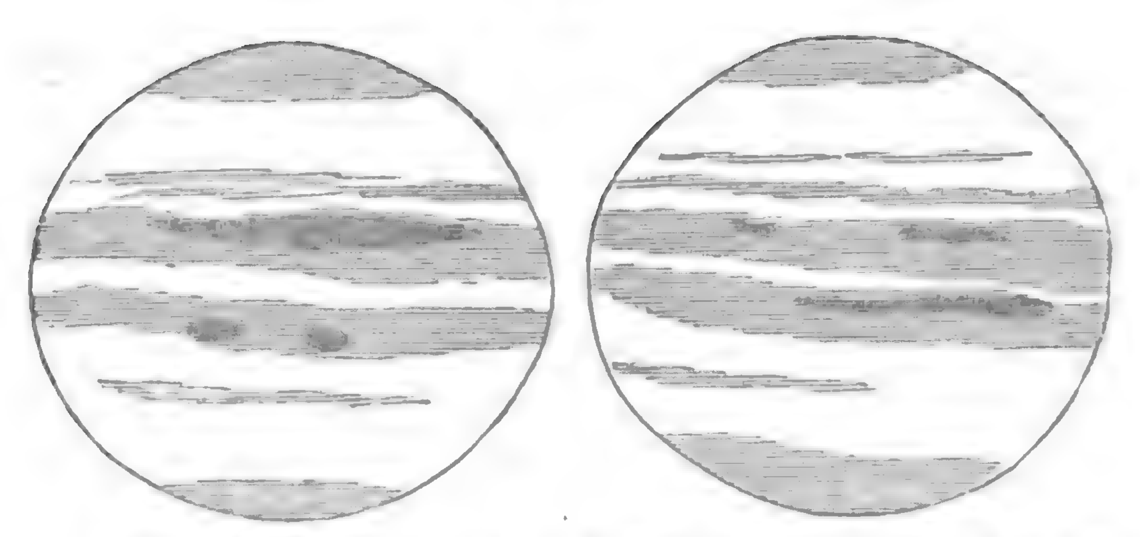
Auch hier wird unsere Erde am Besten zur Grundlage der Betrachtung genommen. Wir unterscheiden an dieser den festen Erdkörper und zwei Hüllen, eine tropfbarflüssige und eine gasförmige. Es ist nothwendig, diese drei Theile zusammenzufassen; denn ohne die wäßrige Hülle und ohne die Atmosphäre kann die Existenz der Erde durchaus nicht verstanden werden. Und so zeigt sich unsre Erde schon auf den ersten Blick nicht als eine gleichartige Masse, sondern als zusammengesetzt aus drei Theilen von verschiedener Natur. Dadurch ist unmittelbar ein Princip der Veränderung in die Erde gelegt; Luft, Wasser und Erdkörper sind in ununterbrochener Wechselwirkung, in fortdauernder Umwandlung begriffen. In der Mitte steht das Wasser, theils in größeren Becken ruhend, theils als Quellen, Bäche und Flüsse mannigfach bewegt. Wasserdämpfe steigen in die Luft empor und fallen aus ihr wieder als Regen oder Schnee herab. Feine Wasseradern durchziehen die feste Rinde des Erdkörpers bis zu bedeutenden Tiefen; sie sammeln sich an einzelnen Orten und brechen wieder als Quellen hervor. Atmosphärische Luft wird von den Gewässern aufgesaugt, und ihr Sauerstoff macht das Athmen der Wasserthiere möglich. Aus der festen Erdrinde gehen mineralische Substanzen in fließendes und stehendes Wasser über;

Digitized by Google

sie dringen mit dem Wasser in Pflanzen und Thiere ein, und was man als Skelet, als die feste Unterlage der Organismen bezeichnet, bedarf zu seiner Bildung insbesondere jene, im Wasser enthaltenen, mineralischen Stoffe. So greifen Erdkörper, Wasser und Luft ununterbrochen in einander ein; vor Allem aber stehen die Atmosphäre und die wäßrige Hülle der Erde in der innigsten Wechselbeziehung. Ist es ebenso bei den übrigen Planeten?

Alle Himmelskörper, welche mit der Erde unter der Klasse der Planeten zusammengefaßt werden, zeigen einen dichten Körper von fester Substanz, welcher dem festen Erdkörper entspricht. Außerdem lassen mehrere derselben, nämlich Merkur, Venus, Mars und Jupiter, mit ziemlicher Bestimmtheit eine Atmosphäre erkennen. Ob der feste Körper unter dieser Atmosphäre auch von einer wäßrigen Hülle umgeben wird, läßt sich bis jetzt nicht sicher behaupten; aber einige Beobachtungen machen es sehr wahrscheinlich. So zeigt Mars an seinen beiden Polen weiße Flecken von bedeutendem Glanz und scharfer Begränzung; diese Flecken nehmen ab und zu; sie wachsen, wenn der betreffende Pol Winter hat, sie nehmen im Sommer des betreffenden Poles ab. Es drängt sich für diese Flecken die Vergleichung mit dem Schnee unserer Erde auf; sie würden die atmosphärischen Niederschläge des Marswinters darstellen. Auch Mars würde also neben der Atmosphäre eine tropfbarflüssige Hülle besitzen, deren Theilchen abwechselnd in die Atmosphäre als Dampf emporsteigen und als Regen oder Schnee wieder auf die Erde herabfallen. Rings um den Saturn läuft in der Gegend des Aequators ein dunkler Streifen, aus welchem man auf eine Atmosphäre mit Wolken schließt. Auch bei Jupiter glaubt man Wolkenhaufen in einer dichten Atmosphäre annehmen zu dürfen; sie bilden vielleicht die bräunlichen, verwaschenen, horizontalen Streifen, durch welche das Bild des Jupiter, wie es die folgende Figur deutlich macht, sich auszeichnet.

Digitized by Google



Diese Andeutungen sind bestimmt genug, um bei allen Planeten ähnliche Verhältnisse, wie bei der Erde, wahrscheinlich zu machen. Die Beschaffenheit der Atmosphäre und der tropfbarflüssigen Hülle, die Zusammensetzung des festen Körpers wechseln ohne Zweifel bei den einzelnen Planeten in hohem Grade; aber allen dürfte doch keines jener drei Glieder fehlen, welche an unserer Erdoberfläche die schon bemerkten, ununterbrochenen Veränderungen vermitteln; alle dürften in dieser Gliederung, gleich der Erde, einen dauernden Antrieb zum Wechsel, zur Zerstörung des Vorhandenen und zur Bildung neuer Stoffe besitzen. Ob sie, wie die Erde, organische Geschöpfe, Pflanzen und Thiere, beherbergen, ist nicht allein von dem Vorhandensein eines festen Körpers, einer wäßrigen und gasförmigen Hülle abhängig. Wir lassen diesen Punkt für jetzt wenigstens unerörtert.

Die Atmosphäre, welche unsere Erde umgibt, ist für die Wirkung des Sonnenlichtes an unserer Erdoberfläche von höchster Bedeutung. Wir müssen annehmen, daß jenes äußerst dünne Medium, welches sehr wahrscheinlich die Zwischenräume der Himmelskörper ausfüllt, fast absolut durchsichtig ist, daß also die Lichtstrahlen der Sonne an die äußere Oberfläche unserer Atmosphäre so gut als ungeschwächt gelangen (S. 73 ff.). Aber sobald die Sonnenstrahlen in unsere Atmosphäre eintreten, ändern sich die Verhältnisse. Wir sprechen hier nicht davon, daß die Lichtstrahlen in der Atmosphäre, und zwar vorzüglich

in den tieferen, dichteren Schichten derselben, von ihrem Wege abgelenkt, gebrochen werden; sie erleiden außerdem während des Durchgangs durch unsere Atmosphäre eine zunehmende Schwächung. Diese hat ihren Grund in der unvollkommenen Durchsichtigkeit unserer Atmosphäre; ein Theil der Lichtstrahlen wird von dieser durchgelassen, ein anderer Theil aber zurückgeworfen. Dasselbe geschieht mit den Wärmestrahlen der Sonne.

Wir haben schon früher (S. 77) erwähnt, daß auf dieser theilweisen Reflexion der Sonnenstrahlen die Helligkeit unserer Atmosphäre ganz allein beruht. Würde unser Luftkreis alles Licht unverändert durchlassen und keine Strahlen desselben reflektiren, so müßte sich uns die Sonne als ein leuchtender Körper auf schwarzem Grunde darstellen; die Wirkungen der Licht- und Wärmestrahlen der Sonne würden auf einzelne Punkte concentrirt und hier bedeutend erhöht; die Sonne würde in vielen Beziehungen auf Pflanzen und Thiere schädlich einwirken, sie würde auf den Menschen überall denselben nachtheiligen Einfluß ausüben, welcher ihren Strahlen jetzt auf hohen Bergen zukommt. Die Beschaffenheit unserer Atmosphäre bewirkt also, daß die Sonne ihren Weg am Himmel als ein leuchtender Körper auf hellem Grunde zurücklegt, daß sie durch ihre Licht- und Wärmestrahlen in milder Weise und in größerer Ausdehnung auf unsere Erdoberfläche und insbesondere auf die lebenden Geschöpfe der Erde einwirkt. Wenn lebende Wesen die Oberfläche der übrigen Planeten bevölkern, wenn einige dieser Wesen Organe haben, welche sich mit unsern Augen vergleichen lassen, so wird das Vorhandensein einer Atmosphäre auch auf den übrigen Planeten ähnliche Effekte, wie auf unserer Erde, hervorbringen.

Und jetzt, nachdem wir die Zusammensetzung der Planeten aus festen, tropfbarflüssigen und gasförmigen Stoffen wahrscheinlich gemacht, nachdem wir die Wichtigkeit der Atmosphäre für die Beleuchtung und Erwärmung der Planeten erörtert haben, gehen wir daran, den mittleren Theil, den festen Körper

Digitized by Google

der Planeten näher zu untersuchen. Wir führen zuerst das specifische Gewicht der Planeten an; durch strenge Schlußfolgerungen ist es möglich geworden, das eigenthümliche Gewicht, die Dichtigkeit für die Planeten eben so gut zu bestimmen, als für Steine, welche wir in der Hand halten.

Setzen wir das specifische Gewicht des Wassers = 1, so erhält der Erdkörper die Zahl $5\frac{1}{2}$. Dieses Gewicht zeigt die Erde indeß nicht gleichmäßig durch ihre ganze Masse hindurch; sondern ihre Dichtigkeit scheint an der Oberfläche am geringsten zu sein und gegen den Mittelpunkt hin zu wachsen; die äußere Erdkruste hat nur ein specifisches Gewicht von $2\frac{1}{2}$. So kommt nun jedem Planeten, wie jedem irdischen Körper, sein eigenthümliches Gewicht zu. Nur Merkur übertrifft die Erde; er verhält sich zu ihr = $1\frac{1}{4} : 1$; alle übrigen Planeten bleiben hinter der Erde an Dichtigkeit zurück. Dieß gilt besonders von den vier großen, äußern Planeten; nehmen wir das specifische Gewicht der Erde = 1, so hat Saturn nur $\frac{1}{7}$, Jupiter nur $\frac{1}{4}$; bei dem letztern scheint die Dichtigkeit der Masse, wie bei der Erde, von dem Umfange gegen den Mittelpunkt hin zuzunehmen.

Kennt man von irgend einem Körper zugleich das specifische Gewicht und den Rauminhalt, so ist man leicht im Stande, das absolute Gewicht jenes Körpers aufzufinden, d. h. zu bestimmen, wie viel ein Körper von solcher Beschaffenheit bei einem gewissen Umfange wiegt. Wir kennen nun sowohl das specifische Gewicht als die Durchmesser der meisten Planeten, und wir vermögen daher aus diesen Voraussetzungen ihr absolutes Gewicht abzuleiten; wir sind im Stande, von den meisten Planeten zu sagen, ob sie auf unsern Wagen mehr oder weniger wiegen würden, als unsere Erde, und wie sich ihr absolutes Gewicht zu dem unserer Erde verhalte. Dieß absolute Gewicht der Planeten wird auch als ihre Masse bezeichnet; es gibt an, wie viel in jedem Planeten von jener unbekannten, auf abstrakte Weise angenommenen Substanz der Körper enthalten sei. Nehmen wir die Masse oder das abso-

Digitized by Google

lute Gewicht der Erde wieder = 1, so erhält Merkur z. B. $^1/_{13}$, Mars $^1/_7$ — $^1/_6$, Neptun aber 24, Saturn 101 und Jupiter, der massigste der Planeten, 339.

So gut wir also von irgend einem Körper, von einem Stein, von einem Stücke Holz oder Eisen, auf unsern Wagen bestimmen können, wie schwer er sei, wie er sich dem Gewichte nach zu andern Körpern verhalte, ebenso wissen wir jetzt die Gewichtsverhältnisse aller Planeten. Diese Himmelskörper liegen klar vor uns, wie wenn wir sie in der Hand gehalten und selbst auf unsere Wagen gelegt hätten. Aber die Gewichtsbestimmung der Planeten bekommt die höchste Wichtigkeit durch die Beziehung des Gewichts zur Wirkung der Schwerkraft, d. h. durch das Gesetz, daß die Größe der Schwereanziehung mit der Masse der Körper in gleichem Verhältnisse wächst und abnimmt. Erst durch diese genaue Abwägung der Planeten konnte die richtige und erschöpfende Erkenntniß ihrer Bewegungen begründet werden; denn ihre Bahnen und ihre Geschwindigkeit hängen vorzüglich von der Art und Weise ab, in welcher sich die Schwerkraft an ihnen äußert. Wenn die Masse des Jupiters sich zu der der Erde = 339 : 1 verhält, so beträgt die Sonnenmasse das 355,500fache von der Erdmasse. Die Sonne übertrifft, wie wir schon oben bemerkten, alle untergeordneten Körper ihres Systems an Masse 720mal; daher hält sie als Centralkörper alle Planeten in ihrer Nähe fest. Wenn die Planeten selbst wieder zu Centralkörpern werden, um welche Monde kreisen, so müssen sie natürlich eine größere Masse haben als ihre Trabanten; unser Mond verhält sich in dieser Beziehung zur Erde = 1 : 85.

Diese Thatsachen erscheinen jetzt ganz einfach und leicht verständlich; und doch sind sie erst das Resultat von langen, die kräftigsten Geister anspannenden Bemühungen, sie sind unvergängliche Zeugnisse von der mächtigen Schärfe und Energie des menschlichen Verstandes. Die Fernen des Planetensystems, deren Ausmessung wohl unsern Zahlen, aber nicht unserer

Digitized by Google

Phantasie gelingt, sind den Maaßen unserer Wissenschaft völlig unterthan geworden. Wir wägen Planeten so gut als irdische Körper, und wir finden an jenen Himmelskörpern unsere Bewegungsgesetze klarer ausgedrückt, als irgendwo an der Erdoberfläche. Die Schwäche unserer Natur, die Unzureichendheit unserer Hilfsmittel hat uns nicht verhindert, in der Erforschung unseres Sonnensystems die Triumphe jenes Geistes zu feiern, der dieselben Gesetze der umgebenden Schöpfung und unserm prüfenden Verstande eingepflanzt hat, der vor der umfassenden, alles durchdringenden Geltung seiner Gesetze die Weiten des Himmelsraumes verschwinden läßt.

Es wäre jetzt eigentlich am Platze, nachdem das specifische und das absolute Gewicht der festen Planetenkörper angeführt worden ist, auch darüber etwas zu sagen, aus welchen chemischen Grundstoffen und Verbindungen die Atmosphäre, die tropfbarflüssige Hülle und der feste Körper der Planeten bestehen mögen. Aber für jetzt wenigstens wäre es ganz unnütz, über die chemische Zusammensetzung der Planeten auch vermuthungsweise etwas Bestimmtes zu äußern, denn wir wissen hievon durchaus nichts Sicheres, und es fehlen uns alle Anhaltspunkte zu Hypothesen. Ohne Zweifel hat jeder Planet wieder eine eigenthümliche Zusammensetzung von Körper und Hüllen. Bei manchen Planeten mag die tropfbarflüssige und gasförmige Hülle den Gewässern und der Atmosphäre der Erde ähnlich sein; dafür sprechen bei Mars die schneeähnlichen Niederschläge an den Polen. Von dem festen Körper der Planeten können wir uns keinen genaueren Begriff machen; aber von andern Himmelskörpern sind uns wenigstens einige spärliche Nachrichten über die chemischen Gesetze, welche außerhalb der Erde im Reich der Gestirne gelten, zugekommen. Die Meteorsteine haben uns hierüber Aufschlüsse gebracht.

Alle Meteorsteine sind ohne Zweifel nur Bruchstücke der Feuerkugeln, welche von Zeit zu Zeit in unserer Atmosphäre erscheinen. Die Feuerkugeln aber gehören wahrscheinlich in

Digitized by Google

Eine Gruppe von Körpern mit den Sternschnuppen. Wie die Planeten elliptische Bahnen um die Sonne beschreiben, so scheint ein Kreis von kleinen Weltkörpern sich ununterbrochen in einer bestimmten Entfernung um die Sonne zu bewegen. Dieser Kreis trifft an zwei Stellen die Bahn der Erde, und jedesmal wenn die Erde jenen Kreis durchschneidet, so zieht sie durch ihre überwiegende Masse einen Theil der kleinen Weltkörper an; diese stürzen auf die Erde als Sternschnuppen oder Feuerkugeln herab. So hat A. v. Humboldt die Verhältnisse einleuchtend dargestellt. Die Zeiten, in welchen die Erde den Kreis jener kleinen Himmelskörper durchschneidet, sind der 12 — 13. November und der 9 — 14. August. Unzählige Sternschnuppen erscheinen während dieser zwei Zeiträume in unserer Atmosphäre; 240,000 wurden in Nordamerika im Verlaufe von neun Stunden gezählt. Seltener sind die großen Feuerkugeln, welche gewöhnlich unter donnerartigem Getöse steinartige Massen, die sogenannten Meteorsteine, auf die Erde herabstürzen lassen. Der Durchmesser der Feuerkugeln ist bedeutend, bis zu 2600 Fußen. Wenn wir nun diese Feuerkugeln, ebenso wie die Sternschnuppen, mit Recht für Weltkörper und nicht für Erzeugnisse unserer Atmosphäre oder gar für Auswürflinge von Mondvulkanen erklären, wenn die Meteorsteine Bruchstücke der Feuerkugeln sind, so dürfen wir auf die chemische Zusammensetzung der Meteorsteine einige Vermuthungen über die chemischen Processe gründen, welche im Weltraume vor sich gehen.

Ein Theil der Meteorsteine zeichnet sich vorzüglich durch seinen Gehalt an gediegenem Eisen aus. Dieses Metall ist zwar in der Erdrinde und an der Erdoberfläche sehr verbreitet; es kommt sowohl in sehr vielen Gesteinen, als auch in den meisten organischen Körpern vor. Aber man hat an oder in der Erde noch nie reines, unverbundenes Eisen entdeckt; immer war es in chemischer Verbindung mit Sauerstoff, Schwefel oder andern Substanzen. Nur das meteorische Eisen befindet

Digitized by Google

sich im metallischen Zustande, und ihm sind vorzüglich die verwandten Metalle, Nickel und Kobalt, beigesellt. Außer Eisen kommen in den Meteorsteinen vornehmlich einige Salze vor, welche aus Kieselsäure und mehreren Salzbasen, wie Kali, Natron, Kalkerde, Bittererde und Thonerde, bestehen. Es läßt sich kaum bezweifeln, daß diese kieselsauren Verbindungen mit einigen, in der Erdrinde vorkommenden Mineralien, nämlich mit Feldspath, Hornblende, Augit und Olivin übereinstimmen; sie gleichen also besonders solchen Mineralien, welche in vulkanischen Bildungen, in den Laven und Basalten unserer Erde angetroffen werden. Außer diesen Substanzen, welche die chemischen Grundstoffe Eisen, Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium, Aluminium, Silicium und Sauerstoff in sich schließen, treten in den Meteorsteinen noch besonders die Metalle Mangan, Zinn, Kupfer, Arsenik und die Metalloide Schwefel, Phosphor und Kohle auf. Alle chemischen Elemente, welche in den Meteorsteinen vorkommen, sind auch als Bestandtheile unserer Erdrinde bekannt.

Wenn demnach die Meteorsteine aus lauter Elementen bestehen, welche auch an der Zusammensetzung unserer irdischen Gesteine Theil nehmen, wenn die Meteorsteine sogar in der Art ihrer Zusammensetzung aus chemischen Grundstoffen nicht von unseren irdischen Mineralien abweichen, ist dann die Vermuthung allzu sanguinisch, daß auch außerhalb unserer Erde dieselben chemischen Gesetze herrschen, welche sich aus unsern, an der Erdoberfläche angestellten Beobachtungen ergeben? Wir rechnen die Feuerkugeln und Sternschnuppen zu den Weltkörpern, die sich innerhalb der Gränzen unseres Planetensystems um die Sonne bewegen. Wenn nun die Bruchstücke der Feuerkugeln chemische Elemente und Verbindungen enthalten, welche auch an unserer Erdoberfläche vorkommen, so dürfen wir es wenigstens als möglich annehmen, daß überhaupt in dem Bereiche unseres Planetensystems dieselben chemischen Gesetze gelten, wie auf unserem Erdkörper, daß alle Planeten aus den-

selben Elementen und aus ähnlichen chemischen Verbindungen bestehen, wie unsere Erde.

Die Gruppe der Planeten müßte hienach als eine sehr natürliche erscheinen; alle Himmelskörper dieser Gruppe würden sowohl durch ihre elliptischen, wenig vom Kreise abweichenden Bahnen und durch ihren gemeinsamen Centralkörper, die Sonne, als durch ihre Zusammensetzung aus denselben Elementen, durch die Geltung derselben chemischen Gesetze und durch das Vorhandensein einer tropfbarflüssigen und einer gasförmigen Hülle untereinander wesentlich übereinstimmen. Insbesondere würde die Gleichartigkeit der chemischen Gesetze und der gemeinschaftliche Gegensatz zwischen festem Planetenkörper, tropfbarflüssiger Hülle und elastischer Atmosphäre auch den Veränderungen, den innern und äußern Vorgängen der Planeten etwas Uebereinstimmendes und Gemeinsames verleihen. Und soferne das Leben der organischen Geschöpfe von den Vorgängen an der Planetenoberfläche vorzüglich abhängt, könnten wir es keineswegs den vorliegenden Thatsachen widersprechend finden, auch auf andern Planeten organische Geschöpfe, welche den irdischen ähnlich wären, anzunehmen.

Mit dieser Hervorhebung der wesentlichen Verwandtschaft zwischen den Gliedern der Planetengruppe sollen natürlich die bedeutenden Unterschiede der einzelnen Planeten keineswegs geläugnet oder verkleinert werden. Wie die Planeten verschiedene Durchmesser, wie sie verschiedene Weisen der Bewegung um sich selbst und um die Sonne haben, so weichen sie auch von einander auffallend ab in der Dichtigkeit ihrer Körper und ihrer tropfbarflüssigen und gasförmigen Hüllen, und in der Art, wie die gemeinsamen chemischen Gesetze an ihnen in Wirksamkeit treten. Ja diese beiden, zuletzt genannten Momente umfassen bei den Planeten gerade die innere Zusammensetzung, und in dieser prägt sich, wie wir oben bemerkten, die eigenthümliche Natur der Körper überhaupt und der Planeten insbesondere mit Deutlichkeit aus.

Digitized by Google

Der innern Zusammensetzung steht die äußere Gestalt der Körper gegenüber. Alle Planeten, welche wir kennen, stimmen darin überein, daß sie eine kuglige oder nahezu kuglige Form besitzen. Merkur, Venus und Mars weichen in ihrer äußern Form nur wenig von der Kugel ab; die kleinen Planeten scheinen sich ebenso zu verhalten. Aber die Erde, Jupiter, Saturn und Uranus sind an ihren beiden Polen deutlich abgeplattet; sie stellen nur Sphäroide dar. Bei dem Planeten, welchen wir bewohnen, ist die Abplattung am kleinsten, nur $1/_{289}$ von dem Durchmesser des Erdkörpers; bei Jupiter aber beträgt sie $1/_{17}$, bei Saturn $1/_{10}$ und bei Uranus sogar $1/_{9}$ des größten Durchmessers.

Unter allen Formen, die wir an den Körpern unterscheiden, ist die Kugel diejenige, bei welcher die Lage des Schwerpunktes sich am leichtesten bestimmen läßt; dieser fällt hier immer mit dem Mittelpunkte zusammen, und die Masse des Körpers ist um ihn nach allen Seiten hin völlig gleichmäßig vertheilt. In einem System von Körpern, wo alle Bewegungen durch die Schwerkraft bestimmt, also von der Masse der einzelnen Körper vorzüglich abhängig sind, werden sich natürlich die einfachsten Verhältnisse für die gegenseitige Anziehung ergeben, wenn die Form der Körper die Kugel ist. So verhält es sich in unserm Planetensysteme. Vom Mittelpunkte der Kugel geht die ganze Anziehung des einen Planeten auf die übrigen aus; dieser Mittelpunkt liegt in der Umdrehungsaxe der Planeten; da die Masse gleichförmig um den Mittelpunkt vertheilt ist, so kehrt jeder Planet bei seiner Umdrehung, wie in der Ruhe, nach allen Seiten hin immer die gleiche Masse und übt, diesem entsprechend, überallhin die gleiche Anziehung aus. Die polare Abplattung einiger Planeten ändert an diesen Verhältnissen sehr wenig; die bergähnlichen Erhebungen, welche an der Oberfläche der Planeten bemerkt oder wenigstens vermuthet werden, kommen vollends gar nicht in Betracht. Aber es ist der Mühe werth, sich zu vergegen-

Digitized by Google

wärtigen, welche schwierigen Verhältnisse aus einer andern Form der Planeten in unserem Sonnensysteme hätten entstehen müssen. Würfel, Oktaeder, überhaupt vielflächige Körperformen bedingen eine ungleichförmige Vertheilung der Masse um den gemeinsamen Schwerpunkt; ihre Massenanziehung müßte daher in verschiedenen Richtungen sehr verschieden sein. Nur die Form der Kugel oder des kugelähnlichen Sphäroids gestattet jene ungetrübte, gleichförmige Wirkung der Schwerkraft, auf welcher der ganze Bestand unseres Planetensystemes begründet ist.

Es zeigt sich in der verschiedenartigen Abplattung mancher Planeten zur Genüge, daß die Kugel nicht bei allen Planeten in gleicher, unveränderter Form auftritt. Ohne Zweifel erleidet sie bei jedem Planeten je nach seiner Eigenthümlichkeit eine leichte Modifikation, und die stärksten Modifikationen sind eben die bedeutenden Abplattungen, welche man bei Jupiter, Saturn und Uranus bemerkt. Aber diese Abplattungen haben zugleich in anderer Beziehung eine sehr große Wichtigkeit; sie geben uns Winke über die Entstehungsweise der Planeten.

Es ist schon früher erwähnt worden, daß die Schwungkraft oder Centrifugalkraft an der Oberfläche der um ihre Axe sich drehenden Planeten von den Polen bis zum Aequator zunimmt. Bei einem festen Planetenkörper wird hiedurch in der äußern Form nichts verändert. Aber denken wir uns die Theilchen eines kugelförmigen Körpers verschiebbarer, weniger fest unter sich zusammenhängend, so muß durch die Axendrehung eine wirkliche Verschiebung der Theilchen, eine Veränderung der Form nothwendig herbeigeführt werden. Am Aequator der Kugel, wo die Centrifugalkraft am größten ist, müssen sich die Massetheilchen am weitesten vom Mittelpunkt entfernen; hier muß eine Auswölbung der Kugel entstehen, und je mehr Stoff sich hier ansammelt, desto mehr geht an den Polen verloren, desto größer wird die polare Abplattung. Diese Thatsache, deren Richtigkeit sich durch Versuche und

Digitized by Google

Beobachtungen leicht und in vielen Fällen nachweisen läßt, ist benützt worden, um die Abplattung der Planeten zu erklären. Man nimmt einen ursprünglichen Zustand an, in welchem der Planetenkörper nicht fest, sondern tropfbarflüssig oder wenigstens weich war; in diesem Zustande mußte eine Axendrehung nothwendig die geschilderte Verschiebung der Theilchen hervorrufen, und damals entstand also die Abplattung der Planeten.

Diese Annahme von einem früheren, weniger festen Zustande der Planeten ist nicht reine Hypothese; sie läßt sich von einer andern Seite her noch wahrscheinlicher machen. Wenn die Planetenkörper früher tropfbarflüssig oder wenigstens weich gewesen sind, so konnten diesem Zustande zwei Ursachen zu Grunde liegen, nämlich entweder eine sehr hohe Temperatur, welche die Substanz der Planeten geschmolzen erhielt, oder Wasser oder ein anderer tropfbarflüssiger Stoff, in welchem die Planetensubstanz aufgelöst oder doch erweicht gewesen war. Wir lassen die letztere Möglichkeit ganz bei Seite, da sie keine Wahrscheinlichkeit für sich hat, während dagegen für die erstere sehr wichtige Erfahrungen sprechen. Wir müssen auch hier wieder von unserm Erdkörper ausgehen.

Die Wärme, welche von der Sonne aus auf alle Planeten ausstrahlt, äußert ihren Einfluß an der Oberfläche unserer Erde nur auf sehr geringe Tiefen. Die Temperatur der Erdoberfläche wechselt in dieser Beziehung theils nach den Tages- theils nach den Jahreszeiten; aber die ersteren Schwankungen werden schon in einer Tiefe von 5 Fußen, die letzteren in einer Tiefe von 60 bis 80 Fußen nicht mehr bemerkt. In der letzteren Tiefe tritt eine dauernde Mitteltemperatur ein, welche von der Erwärmung durch die Sonne abhängt und daher in verschiedenen Zonen und Klimaten verschieden groß ist. Steigt man aber in der Erdrinde noch unter diese Gränze der jährlichen Temperaturwechsel hinab, so bemerkt man, je tiefer man eindringt, eine fortwährende, andauernde Zunahme der Temperatur. Im Allgemeinen scheint auf 100 Fuß 1 Grad

Digitized by Google

Temperaturzunahme zu kommen; aber an verschiedenen Orten, in verschiedenen Gesteinen ist diese Zunahme bald größer bald kleiner; in den größten Tiefen, bis zu welchen man bis jetzt eingedrungen ist, scheint sie sich allmählig zu vermindern.

Dieses Gesetz der Wärmezunahme hat sich an allen Orten, wo man die tieferen Theile der Erdrinde untersuchen konnte, vollkommen bestätigt; an einigen Orten reichen die Untersuchungen über 1600 Fuß, in dem Bohrloche von Neusalzwerk bis zu 1900 Fuß unter der Meeresfläche. Aber gegenüber von den 860 geographischen Meilen, welche der Halbmesser der Erde beträgt, sind jene Tiefen sehr unbedeutend; und es muß daher die Frage aufgeworfen werden, ob man Recht hat, auch unter 1900 Fußen mit zunehmender Tiefe eine fortwährende Wärmezunahme sich zu denken.

Aus jenen größern Tiefen der Erdrinde, bis zu welchen der Mensch nie hinabgedrungen ist und wohl auch nie hinabdringen wird, kommt uns sichere Kunde durch Gewässer und durch Laven, die aus den Oeffnungen der Erdrinde hervorbrechen. Die warmen Quellen, welche an den verschiedensten Punkten der Erdoberfläche zum Vorschein kommen, haben ihre höhere Temperatur in den Tiefen erhalten, aus denen sie emporsteigen. Der isländische Geyser zeigt nahe unter der Erdoberfläche noch eine Temperatur von 85° C.; in einer Tiefe von 66 Fußen beträgt seine Temperatur 127° C., also mehr als die Siedhitze des Wassers. Wenn man von den gegebenen Erfahrungen ausgeht, so läßt sich annehmen, daß das Wasser bei 10,000 bis 20,000 Fuß Tiefe die Siedhitze erreichen werde. Soweit also möchte jedenfalls die Temperatur der Erdrinde mit der Tiefe zunehmen. Aber neben den warmen und heißen Quellen ergießt die Erde an vielen Orten, und vorzüglich aus den Kratern der Vulkane, auch Ströme von Laven, d. h. von geschmolzenen Mineralien. Zu dieser Schmelzung sind wenigstens 2000° C. nothwendig, und man darf annehmen, daß diese Temperatur erst in 30 bis 40 Meilen

Tiefe erreicht wird. Der Beweis, welcher aus den warmen Quellen geführt worden ist, wird durch die Betrachtung der Laven sehr erweitert; die Wärmezunahme wird bis zu einer Tiefe, die gegenüber von dem Erdhalbmesser schon in Betracht kommt, im höchsten Grade wahrscheinlich gemacht.

Wir begnügen uns hier mit dem Nachweis, daß der Erdkörper in einer gewissen Tiefe nicht mehr fest, sondern aus feurigflüssigen Mineralsubstanzen zusammengesetzt ist. Wie dick die feste Erdkruste sei, läßt sich bis jetzt durchaus nicht sicher bestimmen; die Vermuthungen schwanken zwischen 14 und 200 Meilen. Aber so viel ist klar, daß nur der kleinere Theil des Erdkörpers aus einer festen Kruste besteht; was unter dieser festen Kruste sich befindet, was den mittleren, überwiegenden Theil des Erdkörpers darstellt, muß durchaus in feurigem Flusse gedacht werden. Die Temperatur dieses flüssigen Erdkernes wird im Mittel zu 4000° C. angeschlagen; sie nimmt hier ohne Zweifel gegen den Erdmittelpunkt hin nicht mehr fortwährend zu.

Um die Abplattung der Erde zu erklären, genügt es zu wissen, daß ihr Kern jetzt noch in feurigflüssigem Zustande sich befindet. Die Erdkruste, welche diesen flüssigen Kern jetzt umschließt, war ursprünglich nicht vorhanden; sie bildete sich an der Oberfläche des Kernes erst allmählig theils durch Erkaltung und Erstarrung der flüssigen Masse, theils durch Absatz aus den Gewässern, die sich auf der erstarrten Kruste aus dem Wasserdunste der umgebenden Atmosphäre niederschlugen. Wenn somit die Erde im Anfange aus einem Körper von geschmolzener, dickflüssiger Masse und aus einer dichten, an Wasserdunst reichen Atmosphäre bestand, so begreift es sich ohne Schwierigkeit, daß die Axendrehung der Erde eine Auswölbung in der Gegend des Aequators und eine Abplattung an beiden Polen hervorbringen mußte.

Wir haben diesen Abschnitt aus der Bildungsgeschichte unserer Erde hier eingeschoben, weil er von dem anfänglichen

Digitized by Google

Zustande der Planeten überhaupt ein anschauliches Bild gibt. Die Gliederung der Planeten in festen Körper, wäßrige Hülle und Atmosphäre war ursprünglich nicht vorhanden. Alle Substanz, welche jetzt als tropfbare Flüssigkeit wahrscheinlich die Oberfläche aller Planetenkörper unter verschiedenen Formen bedeckt, alles Wasser, das an unserer Erdoberfläche jetzt Quellen, Flüsse, See'n und Meere bildet, war damals noch in elastisch-flüssiger Gestalt in der Atmosphäre der Planeten enthalten und gab dieser eine große Dichtigkeit. Die Atmosphäre schloß einen geschmolzenen, schwerflüssigen Kern ein; der ganze Planet bewegte sich um seine Axe, und so entstand aus der ursprünglichen Kugelgestalt bei vielen Planeten die sphäroide, an den Polen leicht abgeplattete Form. Bald begann die Abkühlung der feurigflüssigen Kugel von dem umgebenden Himmelsraume her; die Masse erstarrte zuerst an der Oberfläche zu einer festen Kruste, und jetzt war auch die Form der Planeten unabänderlich festgestellt; die Verschiebbarkeit der Theilchen hörte auf; die polare Abplattung nahm nicht weiter zu. Seit jenen ersten Zeiten hat die Abkühlung und Erstarrung des flüssigen Planetenkernes immerwährende Fortschritte gemacht. Aber sie schreitet immer langsamer weiter, weil die äußere feste Rinde immer dicker wird und den hohen Temperaturgrad des inneren Kernes immer mehr zusammenhält. Von dem ursprünglichen, feurigflüssigen Planetenkörper ist wohl bei allen Planeten noch ein Kern übrig geblieben; bei unserer Erde überwiegt er, wie wir erwähnten, sogar noch die feste Kruste.

Der Rest dieser feurigflüssigen Masse der Planeten gibt jedem Planetenkörper eine gewisse Eigenwärme, welche, wie wir oben erwähnten, von den Wärmestrahlen der Sonne unabhängig ist. Diese Eigenwärme mußte früher, da die feste Kruste des Körpers noch ganz fehlte oder eine sehr geringe Dicke hatte, viel größer sein als im jetzigen Zustande der Planeten. So bewirkt die dicke Kruste unseres Erdkörpers, daß die Wärme des Erdkernes die mittlere Temperatur der Erd-

oberfläche kaum um $^1/_4$ Grad erhöht. Von der Eigenwärme der übrigen Planeten ist uns nichts bekannt.

Die Abplattung mancher Planeten hat uns zu einer Hypothese über ihre ersten Zustände, ihre Gestalt hat uns zu einer bestimmten Ansicht von der ursprünglichen Entwicklung der Planeten geführt. Wir denken sie uns als Tropfen von geschmolzener, strengflüssiger Substanz, um sich selbst rotirend und im Weltraume um einen gemeinsamen Centralkörper kreisend. Wie die Kugelform für die Bewegungen der Körper unseres Sonnensystems als die passendste erkannt wurde, so haben umgekehrt die Umdrehungen der Planeten wieder verändernd auf die reine Kugelform eingewirkt und die Abplattung der Pole hervorgebracht. Je nach der chemischen Beschaffenheit des Planetenkörpers, je nach den Stoffen, welche ihn zusammensetzten, mußte die Axendrehung stärkere oder schwächere Veränderungen der Kugelform hervorbringen. Außerdem aber platteten sich die Planeten gewiß auch um so mehr ab, je rascher sie sich um ihre Axe drehten; daher trifft die größte Abplattung bei Jupiter, Saturn und Uranus mit der schnellsten Umdrehung zusammen.

Die äußere Gestalt, wie die innere Zusammensetzung lassen die Planeten als Himmelskörper von inniger Verwandtschaft erscheinen. Unter den untergeordneten Gliedern unseres Sonnensystemes stellen sie die eine Gruppe dar. Ehe wir nun zu der andern Gruppe, nämlich zu den Kometen, übergehen, müssen wir noch die Trabanten der Planeten in Bezug auf Zusammensetzung und Gestalt ins Auge fassen.

Der Mond, welcher unserer Erde so nahe steht, hat zu jeder Zeit die besondere Neugierde der Erdbewohner in Anspruch genommen. Seitdem man diesen Trabanten schärfer beobachtet, haben sich Gelehrte und Ungelehrte sehr häufig mit der Frage beschäftigt, ob der Mond auch belebte Wesen, ob er insbesondere menschenähnliche Geschöpfe beherberge, und, was damit aufs innigste zusammenhängt, ob er in seiner

Digitized by Google

physischen Beschaffenheit mit unserer Erde übereinstimme. Die erste Frage, deren Beantwortung allen übrigen Erörterungen vorausgehen muß, scheint die zu sein, ob dem Monde außer dem festen Körper, an welchem nicht zu zweifeln ist, auch eine tropfbarflüssige Hülle und eine Atmosphäre zukomme. Diese drei Theile stehen bei unserer Erde und wohl bei allen Planeten in so genauer Wechselbeziehung, sie bedingen so sehr das Leben aller irdischen Organismen und namentlich des Menschen, daß mit ihrem Vorhandensein oder Fehlen schon die wichtigste Entscheidung über die physische Beschaffenheit und über eine etwaige Bevölkerung des Mondes gegeben ist.

Man schließt bei den Planeten auf eine Atmosphäre, wenn das Sonnenlicht, das von ihrer Oberfläche reflektirt wird, auf diesem Rückwege eine Schwächung und eine Ablenkung oder Brechung erleidet. Wo eine solche Veränderung des Lichtstrahles fehlt, kann folgerichtiger Weise keine Atmosphäre vorhanden sein. Und so scheint es beim Monde sich zu verhalten; wir sehen seine ganze Oberfläche gleich deutlich, und namentlich erkennen wir seinen Rand mit derselben Schärfe als seine Mitte, was bei einer Atmosphäre, wie die unsrige, durchaus nicht stattfinden könnte. Wollen wir daher nicht annehmen, daß die Mondatmosphäre $1/_{968}$ von der Dichtigkeit der Erdatmosphäre habe, was Bessel aus genauen Rechnungen als die äußerste Möglichkeit fand, so bleibt nichts übrig, als dem Monde eine gasförmige Hülle, einen Luftkreis völlig abzusprechen.

Bedenken wir zweitens, daß die Gewässer, welche einen großen Theil unserer Erdoberfläche bedecken, ununterbrochen zur Bildung von Dünsten, welche sich unserer Atmosphäre beimischen, Veranlassung geben, daß ein ähnliches Verhältniß zwischen der Atmosphäre und der tropfbarflüssigen Hülle auch bei allen übrigen Planeten sehr wahrscheinlich, bei Mars aber fast unzweifelhaft ist, so leuchtet ohne Schwierigkeit ein, daß sich bei unserem Monde eine tropfbarflüssige Hülle nicht denken läßt, ohne daß Theile von ihr verdunsten, welche sich einem

Luftkreise beimengen oder selbst einen solchen bilden müßten. Mit der Abwesenheit einer Atmosphäre fällt daher auch fast nothwendig eine wäßrige Hülle des Mondes weg; und dazu kommt, daß es trotz den angestrengtesten Beobachtungen und trotz der bedeutenden Nähe des Mondes nicht möglich gewesen ist, Ansammlungen von tropfbarer Flüssigkeit, welche Meeren oder See'n ähnlich gewesen wären, auf dem Monde zu entdecken. Man bemerkt wohl Gebirge und Thäler von eigenthümlichen Formen, aber nichts, was sich mit den Gewässern der Erde vergleichen ließe, auch keine schneeartigen Niederschläge, wie sie an den Polen des Mars beobachtet werden.

So bleibt nichts übrig, als dem Monde eine andere Beschaffenheit zuzuschreiben als den Planeten; er besteht nur aus einem festen Körper und entbehrt sowohl die tropfbarflüssige als die gasförmige Hülle. Da nun das Leben der irdischen Organismen mit diesen zwei Hüllen des Erdkörpers im wesentlichsten Zusammenhange steht, so scheinen auf dem Monde die Bedingungen zum Leben ähnlicher Organismen nicht vorhanden zu sein, und wir sind völlig außer Stande, uns lebende Wesen vorzustellen, deren Organisation einem Aufenthalte auf dem Mondkörper angemessen wäre. Es ist besser, diese Unmöglichkeit einzugestehen, als in phantastischen Erfindungen von Mondbewohnern die Gesetze der Astronomie und Physik zu verläugnen.

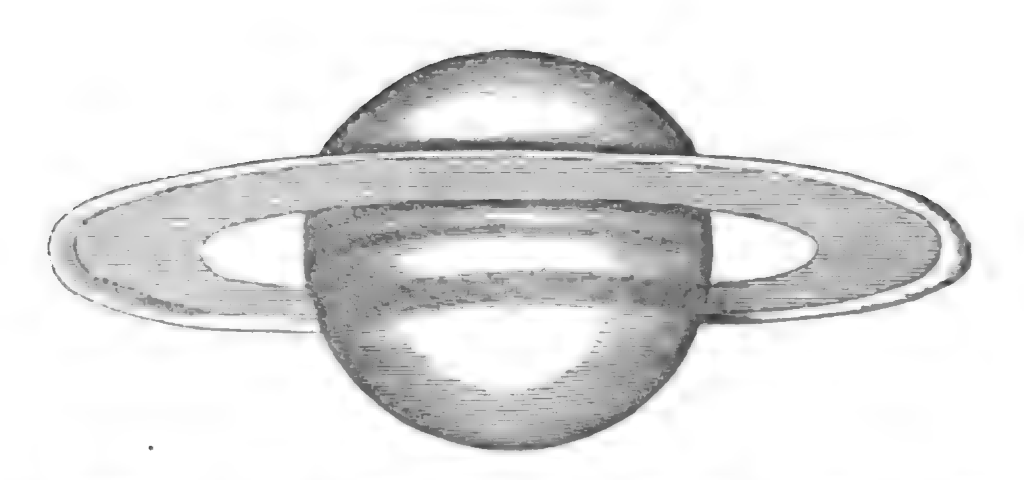
Wenn das specifische Gewicht des Erdkörpers 5½ beträgt, so ist der Mond nur 3½mal schwerer als Wasser. Seine Pole sind nicht abgeplattet, wie die Erdpole; aber sein Durchmesser zeigt gegen den Erdkörper hin eine Verlängerung von etwa 1000 Fußen. Man hat die Ansicht aufgestellt, daß bei der ersten Entstehung des Mondes seine Massetheilchen sich nicht gleichförmig um den Mittelpunkt angeordnet, sondern sich in größerer Menge gegen die Erde hin angehäuft hätten. Durch diese ursprüngliche, wenn auch nicht bedeutende Verschiedenheit der Monddurchmesser wäre von Anfang an das Uebergewicht auf die hervorragendere Mondseite gefallen; diese

Digitized by Google

hätte vom Erdkörper eine stärkere Anziehung erfahren, und daher käme es, daß der Mond seinem Centralkörper immer nur die Eine, stärker angezogene Seite zuwendet. Wie bei den Planeten, so herrscht also auch beim Monde die Kugelform vor; aber wie sie bei den Planeten durch die Axendrehung eine Modifikation erfährt, so hat beim Monde eine ursprüngliche Abweichung von der Kugelform die Eigenthümlichkeit erzeugt, daß der Mond in derselben Zeit, in welcher er um die Erde sich bewegt, auch seine eigene Axendrehung vollendet. Bewegung und äußere Gestalt stehen auch hier in der innigsten Beziehung.

Wir müssen uns mit dieser genauen Kenntniß des Erdmondes begnügen, wenn wir über die Natur der Monde überhaupt Vermuthungen aufstellen wollen; denn über die physische Beschaffenheit der Trabanten des Jupiter, des Saturn, Uranus und Neptun sind wir noch zu wenig unterrichtet. Da indeß wenigstens die Jupitersmonde sowohl in Bezug auf ihren Abstand, als in Bezug auf ihre Umdrehung um die eigene Axe unserem Monde ähnlich sind, so ist es gewiß nicht zu gewagt, die wesentlichen Eigenschaften unseres Trabanten auch für die Trabanten der übrigen Planeten vermuthungsweise anzunehmen. Wenn wir nun zu einem vollständigen Planeten den Körper, die tropfbarflüssige Hülle und den Luftkreis rechnen müssen, so erscheint die Natur der Monde viel unvollkommener, da ihnen nur ein fester Körper zukommt. Es fehlt ihnen hiemit jene ganze Mannigfaltigkeit der Umwandlung und Entwicklung, welche auf dem Zusammenwirken des Körpers und seiner Hüllen beruht, und welche bei der Erde unzweifelhaft, bei den übrigen Planeten wenigstens sehr wahrscheinlich ist. Die Monde stehen ebendamit gegenüber von den Planeten auf einer niedrigeren Stufe, als abhängige, eines eigenen Entwicklungsprincipes entbehrende Weltkörper.

Und hier, bei den Monden, muß auch ein eigenthümliches Gebilde erwähnt werden, nämlich der Ring des Saturn. In



einer Entfernung von 4594 Meilen umgibt er jenen Planeten kreisförmig, freischwebend in der Ebene seines Aequators. Seine Breite beträgt 6047 Meilen; seine Dicke ist sehr unbedeutend, sie wird auf etwa 30 Meilen geschätzt. Der Ring ist nicht einfach, sondern er zerfällt der Breite nach in mehrere Abtheilungen, von welchen die innerste die größte, nämlich 3733 Meilen breit ist. Auf diesen inneren Ring folgt zunächst ein deutlicher Zwischenraum von fast 400 Meilen und dann noch drei oder vier sehr schmale, durch enge Zwischenräume von einander getrennte Ringe. Was im Anfang als ein einfacher Ring erschien, stellt sich jetzt als ein ganzes System von Ringen dar, und es ist ausgemacht, daß die einzelnen Ringe weder unter sich noch mit dem Aequator des Saturn vollständig in Einer Ebene liegen. Die Substanz, aus welcher die Ringe gebildet werden, ist fest, undurchsichtig. Die Oberfläche der Ringe zeigt sich nicht regelmäßig, sondern von Unebenheiten unterbrochen. Die Ringe scheinen sich um Saturn kreisend zu bewegen; die Dauer des Umschwunges wird auf etwa 10 Stunden angeschlagen.

Die Ringe des Saturn sind den Monden der Planeten in vieler Beziehung ähnlich; aber sie stehen an selbständiger Entwicklung noch tiefer als die eigentlichen Monde. Die geschlossene, kuglige Form und die Umdrehung um die eigene Axe lassen einen Weltkörper unseres Sonnensystems erst als selbständig erscheinen. Beide Kennzeichen fehlen jenen Ringen; sie

Digitized by Google

stehen zwischen den Monden und der äußersten Rinde des Planetenkörpers gleichsam in der Mitte. Wenn diese Rinde in der Gegend des Aequators sich von einem Planetenkörper losrisse und zu einem freischwebenden, breiten, aber sehr dünnen Ring ausbildete, so wäre die Bildung gegeben, welche den Saturn in der Ebene seines Aequators umgibt. Ob die Ringe des Saturn wirklich auf solche Weise, durch Losreißung vom Planetenkörper entstanden sind, muß völlig dahingestellt bleiben; wir wollten durch jene Annahme nur den geringen Grad von Selbständigkeit der Saturnringe deutlich machen.

Wenn wir früher die Planeten wegen ihrer Licht- und Bewegungsverhältnisse als verwandte Himmelskörper bezeichneten, so tritt diese Verwandtschaft in ihrer Zusammensetzung und Gestalt noch viel mehr zu Tage. Alle diejenigen Beziehungen, welche an unserem Erdkörper mit dem Bestehen der Organismen und vorzüglich des menschlichen Geschlechtes innig verwachsen sind, scheinen sich auf allen Planeten zu wiederholen; wir handeln nicht widersinnig, wenn wir auf allen Planeten lebende Wesen für möglich halten, welche von den irdischen in den wesentlichsten Rücksichten nicht abweichen. Um mehrere Planeten bewegen sich Gebilde von anderer Art, theils wirkliche Monde, theils blose Ringe, weniger selbständig, zwar von festem Stoffe, an der Oberfläche uneben, mit bergähnlichen Hervorragungen, aber ohne tropfbarflüssige und gasförmige Hüllen, also ohne die nothwendigen Voraussetzungen, auf welchen das Leben unserer Organismen beruht.

Wir waren aus dem engeren, wohl überschaubaren Gebiete der Planetenbahnen in die Räume hinausgetreten, in welche die Bahnen der Kometen sich erstrecken; ihre Bewegungsweise hatte sie wie Fremdlinge in unserem Sonnensysteme erscheinen lassen. Aber die Zusammensetzung und Gestalt kehrt auch hier die Verhältnisse noch viel klarer heraus; die Kometen weichen in beiden Beziehungen durchaus von den Planeten ab. Gegenüber von dem festen Körper, den eine tropfbarflüssige

und eine gasförmige Hülle umgibt, stehen bei den Kometen zweifelhafte Kerne, umgeben von einer nebligen, mannigfach geformten Hülle.

Die festen Körper der Planeten und Monde sind dicht, undurchsichtig, von festem innerem Zusammenhang. Die matt glänzende Hülle der Kometen zeigt zwar in ihrem Innern einen Punkt von stärkerem Glanze und, wie es scheint, von festerer Struktur. Aber dieser scheinbare Kern ist vor Allem nicht undurchsichtig; das Licht von Firsternen geht ungehindert durch die Mitte des Kernes hindurch. Dann sind wir durchaus nicht im Stande anzugeben, aus welchem Stoffe der Kern geformt sei. Alle irdischen Körper, seien sie nun fest oder tropfbarflüssig oder gasförmig, bringen in den Lichtstrahlen, welche sie durchlassen, Veränderungen hervor, sie schwächen und brechen sie; aber das Licht der Firsterne wird ohne eine solche Veränderung von dem Kometenkerne durchgelassen. Endlich fehlt diesem jede scharfe Begränzung, oder er zeigt, wenn seine Gränzen deutlicher hervortreten, einen sehr geringen Durchmesser; bei dem großen Kometen von 1811 betrug der Durchmesser nach Herschel nur 100 Meilen. Wir können uns von der Natur dieses Kernes bis jetzt gar keine festen Begriffe bilden.

Die Natur der glänzenden Hülle ist uns nicht weniger unklar. Sie hat gewöhnlich keine scharfe Gränze; in einzelnen Fällen umgibt sie den Kern mehr oder weniger gleichförmig von allen Seiten; in andern Fällen zieht sie sich auf der einen Seite zu einem langen Schweife aus, und dann wird der Komet auch für das blose Auge mit Leichtigkeit sichtbar. Der Durchmesser der einfachen Hülle ist sehr verschieden; er betrug z. B. bei dem Kometen von 1807 zwischen 30,000 und 40,000 Meilen. Aber die Schweife erreichen eine viel größere Ausdehnung; der Schweif des Kometen von 1811 war in der Nähe des Kometen 200,000 Meilen, am Ende 1,200,000 Meilen breit und im Ganzen 12 Millionen Meilen lang. Die Gestalt des Schweifes wechselt zu verschiedenen Zeiten ohne

Digitized by Google

bekannte Ursachen; aber die Veränderungen seiner Richtung und Größe werden vielleicht künftig dazu beitragen, die Natur der Kometen aufzuklären. Die Schweife sind nämlich in der Regel von der Sonne abgewendet; bei der Annäherung zur Sonne verlängern sie sich; bei der Entfernung von der Sonne werden sie kürzer oder verschwinden ganz. Umgekehrt zogen sich die einfachen Hüllen einzelner Kometen in der Sonnennähe auf einen kleineren Umfang zusammen. Es ist bis jetzt nicht gelungen, diesen Einfluß der Sonne auf die atmosphärische Hülle der Kometen mit der Natur dieser Hülle in einen annehmbaren Zusammenhang zu bringen. Das Licht der Fixsterne wird bei seinem Durchgang von der Hülle ebensowenig verändert als vom Kerne der Kometen.

Somit ist uns die Natur der Kometen bis jetzt noch ein schwer zu lösendes Räthsel. Körper, welche das Licht weder brechen noch schwächen, sind uns an der Erdoberfläche durchaus nicht bekannt, und doch müssen wir die Kometen für wägbare Körper halten; denn sie werden von der Sonne und von den Planeten angezogen, und sind demnach dem Gesetze der Schwere unterworfen. Es bleibt vorerst nichts übrig, als der Substanz der Kometen eine so geringe Dichtigkeit zuzuschreiben, wie sie bei keinem andern, unserer Beobachtung besser zugänglichen Körper gefunden worden ist. Aus der geringen Masse der Kometen ist es herzuleiten, daß sie von andern Himmelskörpern unseres Sonnensystems häufige Störungen ihrer Bewegung erleiden, daß sie aber selbst keine solche Störungen an Planeten oder Trabanten hervorzubringen vermögen. Aus welchen chemischen Elementen die Kometen und ihre Hülle bestehen, ob sie die Elemente und die Gesetze der chemischen Verbindung mit unserer Erde gemein haben, ist völlig unbekannt; jedenfalls ist ihre Substanz von den Stoffen, welche Planeten und Monde zusammensetzen, weit verschieden.

Die große Kluft, welche Kometen und Planeten von einander trennt, gestattet auch nicht daran zu denken, daß die

eine Gruppe von Körpern in die andere übergehen könnte. Wir haben über die Entstehung der Planeten aus dem feurigflüssigen Zustande Vermuthungen aufgestellt; aber da wir von der Substanz der Kometen gar nichts Bestimmtes wissen, da wir auf ihre Veränderungen von unserer Erde aus keine Schlüsse machen dürfen, so ist es völlig unmöglich, über vergangene oder zukünftige Zustände derselben etwas auszusagen. Unter sehr vielen Kometenbeobachtungen liegt nur Eine vor, welche über die Veränderungen dieser Himmelskörper einige Winke zu geben vermag. Der Biela'sche Komet, welcher im Jahre 1826 zuerst mit Sicherheit beobachtet und berechnet worden ist, bot bei seiner Wiederkehr in den Jahren 1845 und 1846 eine eigenthümliche Veränderung dar. Er theilte sich vom Januar 1846 an in zwei gesonderte, gleich geformte Kometen; von diesen wurde der eine allmählig heller, so daß er länger beobachtet werden konnte; die Entfernung beider Kometen nahm, so lange sie gesehen werden konnten, langsam zu. Die Wiederkehr dieses Kometen wird im Jahre 1852 erwartet, und dann muß es sich zeigen, ob er als doppelter oder als einfacher Komet erscheinen, oder ob durch seine Theilung auch sein Umlauf Veränderungen erleiden, ob er früher oder später als bisher wiederkehren wird. Eine Erklärung der ganzen merkwürdigen Erscheinung kann noch nicht versucht werden; aber wir dürfen sie gewiß als ein deutliches, wenn auch bis jetzt einziges Beispiel von der Theilung eines Himmelskörpers in zwei neue Körper betrachten.

Planeten und Kometen, so ungleichartig sie auch in Bezug auf Gestalt und Stoff sein mögen, sind doch sowohl durch ihre Bewegung als durch ihre Beleuchtung an einen und denselben Centralkörper, an die Sonne gebunden. Wir fassen jetzt dieses Gestirn ins Auge; seine Eigenschaft, selbst zu leuchten, trennt es von allen bisher betrachteten Himmelskörpern und läßt eine bestimmte, scharf ausgeprägte Eigenthümlichkeit seiner atur erwarten.

Digitized by Google

Die Sonne stimmt mit den Planeten darin überein, daß ihre Gestalt fest begränzt und kugelförmig ist. Ihre Form paßt daher aufs Beste in ein System von Gestirnen, welches auf die gegenseitige Massenanziehung gegründet ist. Eine Abplattung der Pole, wie sie bei mehreren Planeten vorkommt, ist bei der Sonne nicht bemerkt worden; ihre Substanz scheint, seit die Sonne sich um ihre eigene Axe dreht, immer zu viel inneren Zusammenhang gehabt zu haben, um durch die Rotation eine Verschiebung, eine überwiegende Anhäufung in der Gegend des Aequators zu erfahren. Die Dichtigkeit der Sonne steht zurück hinter der Dichtigkeit der Erde; sie beträgt von dieser nur $^1/_4$, und das specifische Gewicht der Sonne gleicht daher ungefähr dem des Ebenholzes.

Soweit unsere Beobachtungen reichen, sind wir genöthigt, auch bei der Sonne einen festen Körper und eine Hülle zu unterscheiden. Die letztere, welche unserer Atmosphäre gleichen dürfte, ist ohne Zweifel die Quelle des Sonnenlichtes, und sie wird daher gegenüber unserer Dunsthülle oder Atmosphäre als Lichthülle oder Photosphäre bezeichnet. Der ältere Herschel nahm an, die Atmosphäre der Sonne sei nicht gleichartig und durch ihre ganze Masse hindurch selbstleuchtend, sondern sie bestehe aus drei verschiedenen Schichten. Von diesen sei die äußerste die glänzendste, die zweite durchsichtig und weniger glänzend, die dritte aber dunkel, wolkenartig, das Licht schwach reflektirend und ebenso schwach durchlassend. Der eigentliche feste Körper der Sonne wird gewöhnlich als dunkel gedacht; das Licht, welches die äußerste Schichte seiner Atmosphäre ausströmt, gelangt zu dem Sonnenkörper bedeutend geschwächt durch die innere, wolkenartige Schichte; die Sonne erhält demnach von ihrem eigenen Lichte viel weniger, als die Planeten ihres Systemes.

Dieser Gegensatz der leuchtenden Hülle und des dunklen Körpers erklärt am besten die früher geschilderten Sonnenflecken. Wenn die äußerste Schichte der Sonnenatmosphäre

einen Riß bekommt, so sehen wir durch die tieferen Schichten den dunklen Körper als einen grauen Fleck durchschimmern. Wenn hingegen der Riß durch alle drei Schichten hindurchgeht, so tritt der dunkle Körper unmittelbar zu Tag, und der Sonnenfleck bekommt eine schwärzliche Farbe. In diesem Falle scheint aber in der Regel die Lücke sich trichterförmig von außen nach innen zu verengern, und man sieht daher um die dunkelste Mitte, welche den Sonnenkörper selbst erblicken läßt, noch grauliche Höfe, wo nur die äußerste, glänzendste Schichte der Photosphäre fehlt. Die Sonnenflecken dürfen also keineswegs für dunkle Körper gehalten werden, welche in der Sonnenatmosphäre schwimmen.

Wie ist das Leuchten der Sonnenatmosphäre zu erklären? Man dachte zur Beantwortung dieser Frage natürlich zuerst daran, das Leuchten der Sonne mit den Lichterscheinungen, die wir an unserer Erdoberfläche bemerken, in Eine Reihe zu stellen. Wie beim Verbrennen von Holz neben Wärme auch Licht erzeugt wird, so sollte das Sonnenlicht gleichfalls nichts Anderes sein als eine durch chemische Processe hervorgerufene Flamme. Wenn wir indeß die Flammen, welche an unserer Erdoberfläche entstehen, näher beobachten, so zeigt sich ihre äußere Form und Begränzung nicht unveränderlich; sie dehnen sich bald mehr bald weniger in dieser oder jener Richtung aus. Dasselbe müßte auch mit der Lichthülle der Sonne geschehen, wenn diese nichts anderes wäre als ein Analogon von irdischem Feuer; die leuchtende Sonnenoberfläche müßte bald da bald dort zu höheren Flammen sich ausdehnen. Solche örtliche Veränderungen, Ausdehnungen oder Zusammenziehungen des Sonnenrandes sind nicht beobachtet worden; die Photosphäre der Sonne wird von einem scharfen Rande begränzt. Dieses spricht gegen die Annahme eines Verbrennungsprocesses als Ursache des Sonnenlichtes. Man hat daher andere Erklärungsarten aufgesucht.

Wir zeigten früher (S. 84), daß durch Zusammendrückung,

Digitized by Google

überhaupt durch Verdichtung der Körper Wärme erzeugt wird; dieß geschieht besonders bei der Zusammendrückung von Gasarten, und bei den höchsten Graden von Compression der Gase gelingt es, neben der größten Wärme auch Licht hervorzubringen. Man hat das Licht der Sonne aus solchen irdischen Thatsachen erklärt. Die Schwere, welche an der Erdoberfläche einen Körper bestimmt, in der ersten Sekunde durch 15 Fuße zu fallen, ist an der Sonnenoberfläche fast 30mal so groß; der fallende Körper muß hier in der ersten Sekunde einen Weg von 428 Fußen zurücklegen. Entsprechend dieser stärkeren Anziehung äußert die Sonne auch auf die Gasarten ihrer Atmosphäre eine verdichtende Wirkung, welche 30mal die ähnliche Wirkung der Erde übertrifft. Man denkt sich, daß aus dieser starken Verdichtung elastischer Flüssigkeiten an der Oberfläche der Sonne das Licht dieses Weltkörpers entspringe. Diese Verdichtung gehe ununterbrochen fort; in welchem Maaßstabe sie geschehen müßte, kann daraus abgenommen werden, daß man Gründe hat, die Höhe der Sonnenatmosphäre auf 300 bis 500 Meilen anzuschlagen.

Die letztere Theorie hat manche Lücken; sie ist nicht im Stande zu erklären, warum die Verdichtung elastischer Flüssigkeiten in der Sonnenatmosphäre ununterbrochen und unvermindert fortdauert. Beide Theorieen, sowohl diejenige, welche den Verbrennungsproceß zu Hilfe nimmt, als die zweite, welche sich auf die bedeutende Schwerkraft der Sonne stützt, vermögen, wenn sie richtig sind, neben der Lichtentwicklung auch sehr leicht die Wärmestrahlung der Sonne zu erklären; denn sowohl bei der Verbrennung als bei Verdichtung der Gase wird neben und vor dem Lichte auch Wärme erzeugt. Bei dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft müssen wir aber zugestehen, daß das Licht und die Wärme der Sonne durch keine der aufgestellten Theorieen genügend erklärt wird.

Wir bescheiden uns bei diesen Möglichkeiten und Vermuthungen; wir halten nur als sehr wahrscheinlich fest, daß

Digitized by Google

die Sonne aus einem kugelförmigen, festen, dunklen Körper und aus einer gasförmigen, leuchtenden Hülle besteht. Welche Substanzen Körper und Hülle zusammensetzen, welche chemischen Gesetze dort gelten, wie Körper und Hülle auf einander wirken, ist uns völlig verborgen. Wir können daher auch über etwaige lebende Wesen auf der Sonne nur wenig und nur Verneinendes aussagen. Die bedeutende Schwerkraft müßte an der Sonnenoberfläche ganz andere Organismen verlangen, als Thiere und Pflanzen, welche in ihrem Wachsthum, in der Bewegung ihrer Säfte und äußeren Glieder auf die viel geringere Schwerkraft unserer Erde eingerichtet sind. Dann aber müssen wir nothwendig zwischen der leuchtenden Photosphäre und dem Körper der Sonne ganz andere Beziehungen voraussetzen, als zwischen der blos durchsichtigen Atmosphäre und dem Körper der Planeten; und wenn die lebenden Geschöpfe in die umgebende Natur und insbesondere in ihre chemischen Vorgänge aufs Genaueste hineinpassen, so gehören auf die selbstleuchtende Sonne ganz andre Organismen als auf dunkle Planeten; die Unterschiede sind hier so groß, daß, wenn die Sonne überhaupt Organismen beherbergt, ihr Bau und ihre Lebensthätigkeiten ganz andere sein müssen, als bei dem Menschen, bei den Thieren und Pflanzen unserer Erde.

Mit unserem Sonnensysteme ist für uns die Kenntniß von Gestalt und Zusammensetzung der Gestirne abgeschlossen. Denn in größeren Fernen erblicken wir keine begränzten Körper von deutlichem Durchmesser, sondern nur noch leuchtende Punkte. Vier Gruppen von Körpern finden sich in den Gränzen des Systemes, welchem unsere Sonne zum Mittelpunkte dient: ein Gestirn mit wohlbegränztem, kugligem, dunklem Körper und leuchtender Atmosphäre, dann kuglige, dunkle Planeten mit festem Körper, tropfbarflüssiger und gasförmiger Hülle, weiterhin Kometen von ungenauer Begränzung, mit undeutlichem Kern und nebliger, mannigfach gestalteter Hülle, endlich, den Planeten beigeordnet, unselbständige, blos aus einem festen

Digitized by Google

Körper bestehende, aber wohlbegränzte, kuglige Monde. Zu der Gruppe der Planeten gehört der Körper, den wir bewohnen; wir vermuthen auch auf den übrigen Wandersternen organisirte, den irdischen nicht ganz unähnliche Geschöpfe.

Von diesen vier Arten der Gestirne dürfen wir im übrigen Weltraume mit Sicherheit nur Eine voraussetzen, nämlich sonnenähnliche Himmelskörper. Vielleicht zeigen auch die Fixsterne einen dunklen, kugligen Körper und eine leuchtende Atmosphäre; vielleicht sind es Vorgänge in dieser Lichthülle, welche bei den veränderlichen Sternen den Wechsel des Glanzes bedingen. Vielleicht kreisen auch um ferne Sonnen dunkle Planeten, den unsrigen ähnlich, mit lebenden Geschöpfen mannigfacher Art bevölkert. In den Fernen des Himmelsraumes ist ein reiches Feld für Ahnung und Phantasie, aber nicht für die sichern Schlüsse der Wissenschaft.

Wir greifen, ehe wir diese Schilderung beschließen, noch in andere Regionen des Weltraumes hinüber; wir führen dem Auge unserer Leser noch andere Gestalten des Himmels vor, welche durch ungemessene Räume von uns getrennt sind, deren Bilder vielleicht erst nach Millionen von Jahren zu unserem Auge gelangen. Wir meinen die Nebelflecke des Himmels.

Für das unbewaffnete Auge scheinen viele Stellen der Milchstraße nicht aus einzelnen Sternen, sondern aus einem leuchtenden Nebel von unbestimmter Begränzung zu bestehen; aber die Fernröhre löst diese scheinbaren Nebel in gesonderte Sterne auf. In anderen Gegenden des Himmels findet aber auch das bewaffnete Auge Nebel von mattem Schimmer. Die einen von diesen werden mit Hilfe stärkerer Instrumente auch als Sternhaufen erkannt; aber in andern ist es nicht möglich gewesen, überall Sterne zu unterscheiden, und es bleibt nichts übrig, als sie für Ansammlungen von ungeformtem, leuchtendem Stoffe zu halten.

Die Sternhaufen enthalten gewöhnlich eine sehr große Zahl, oft mehr als zehntausend Fixsterne. Diese stehen bald

Digitized by Google

dichter bald weniger dicht beisammen; nicht selten sind die Sterne an einzelnen Stellen des Haufens besonders dicht zusammengedrängt, und zwar theils gegen die Mitte hin, theils seltener um mehrere einzelne Mittelpunkte, oder gegen den Rand hin mit ringförmiger Anordnung. Es muß angenommen werden, daß die Sterne dieser Haufen nicht blos zufällig einander genähert sind, sondern auch in Bezug auf gegenseitige Anziehung und auf Bewegung in einem besonders innigen Verhältnisse zu einander stehen. Der wahre Durchmesser und die Entfernung der Sternhaufen entgeht unseren Berechnungen. Man vermuthet nur, die Abstände der einzelnen Sterne jener Haufen seien größer als der Durchmesser unseres Planetensystems, die Sternhaufen selbst aber seien von uns so weit entfernt, daß ihr Licht erst nach mehreren Jahrtausenden zu uns gelange, ja ihre Entfernung sei noch größer, als die der äußersten Sterne der Milchstraße, deren Lichtzeit 4000 Jahre betragen dürfte.

Die eigentlichen Nebelflecke, deren Kenntniß wir vorzüglich den beiden Herschel, Vater und Sohn, verdanken, gehören unter die räthselhaftesten Erscheinungen des gestirnten Himmels. Wenn wir überhaupt annehmen, daß es künftig nicht gelingen werde, sie in Sterne aufzulösen, so erscheinen sie als formlose, unregelmäßig und mannigfach begränzte, mit eigenem, schimmerndem Lichte leuchtende Massen. Sie sind in einzelnen Gegenden des Himmels besonders häufig. Während die Milchstraße sich als ein Gürtel um die linsenförmige Sternschichte legt, der unser Sonnensystem angehört, so wird dieser Gürtel fast rechtwinklig von einem andern durchschnitten, welcher vorzüglich die Nebelflecke des Himmels enthält; über 4000 solcher Gebilde sind bis jetzt aufgefunden.

Die Nebelflecke sind in Bezug auf ihr äußeres Ansehen sehr verschieden. Bisweilen zieht sich eine schwach leuchtende Substanz unregelmäßig ausgebreitet gleich einer Wolke über größere Strecken des Himmelsgewölbes, mit Durchmessern von 1 bis 1½ Graden hin. Dann verdichtet sich die Masse an

Digitized by Google

einzelnen Stellen und bekommt hier einen stärkeren Glanz. Der Fleck gränzt sich mehr und mehr ab; er tritt vereinzelt auf, oder stehen sich bisweilen zwei Nebel so nahe, daß sie sich fast oder ganz berühren. Endlich, bei vollkommener Abgränzung, erscheint der Nebel als eine Scheibe von gleichförmigem, flockigem Lichte; dieß sind die planetarischen Nebelflecke. In einzelnen Fällen scheinen mitten im Nebel ein oder mehrere Fixsterne sich zu befinden; wenn diese nicht vor oder hinter den Nebelflecken stehen und blos zufällig in ihrer Mitte gesehen werden, so kann man nicht umhin, sie in einer bestimmten Beziehung zu den umgebenden Flecken zu denken. Wie sollen wir nun diese verschiedenen Formen ansehen? sollen wir sie als Entwicklungsstufen einer und derselben selbstleuchtenden Sternmaterie betrachten?

Wir sind durch die Beobachtung der irdischen Dinge gewöhnt, die Entstehung aller Körper, auch der außerirdischen, uns in einer bestimmten Weise vorzustellen. Wir sehen in der Auflösung eines Minerales, z. B. des Steinsalzes, daß, wenn die Sättigung der Lösung ihren Höhepunkt erreicht hat, wenn insbesondere feste Körper in die Auflösung gebracht werden, das Steinsalz anfängt, an einzelnen Stellen, namentlich an der Oberfläche der festen Körper, herauszukrystallisiren. Wo der Anfang eines Krystalles gemacht ist, da setzt sich immer neuer Stoff an; die Auflösung wird immer ärmer an Steinsalz, und in demselben Verhältnisse wachsen die einmal gebildeten Krystalle. Aehnlich ist es beim Hühnchen im Ei. Um die ersten Anfänge der Gestaltung sammelt sich immer neuer Stoff; das Hühnchen wächst, der Dotter nimmt ab, und wenn das Hühnchen aus dem Ei hervorbricht, so hat es den Nahrungsstoff, welchen der Dotter enthielt, völlig verzehrt. In der ungeformten Masse treten also einzelne Mittelpunkte der Gestaltung hervor; hier sammelt sich Masse, hieher wird Substanz aus der Umgebung angezogen, und die Bildung ist vollendet, wenn der neue Körper sich nach allen Seiten abgegränzt hat.

Digitized by Google

So schienen auch die Nebelflecke nur den verschiedenen Entwicklungsstufen einer und derselben Substanz zu entsprechen. In dem weiten, von äußerst dünnem Stoffe erfüllten Himmelsraume traten zuerst einzelne Punkte hervor, wie feiner, leuchtender Staub durch weite Strecken sich ausdehnend. An verschiedenen Stellen sammelte sich die Masse; sie erhielt durch ihre Verdichtung höheren Glanz. Die Ansammlungen gränzten sich nach außen ab, und endlich entstand in der Mitte, auf dem höchsten Grade der Verdichtung, ein stark leuchtender Firstern. Was vom Nebel noch übrig war, konnte zum Wachsthum des Sternes oder zur Bildung neuer Sterne verwendet werden; aus dem Nebelfleck kann zuletzt ein Sternhaufen sich herausbilden.

Wenn wir die Nebelflecke für entstehende Sterngruppen halten, wenn wir einen einzelnen Fleck mit unserer ganzen Firsternwelt in gleiche Linie setzen, so ist es nöthig, bei der anscheinenden Kleinheit der Nebelflecke ihnen eine sehr große Entfernung zuzuschreiben. Wir haben den Halbmesser unserer Welteninsel auf 4000 Jahre Lichtzeit angeschlagen; es ist wohl erlaubt, die Entfernung der Nebelflecke mit Mädler noch viel größer, bis zu 30 Millionen Jahren Lichtzeit anzunehmen. Wenn nun das Licht so lange gebraucht hat, um von den Nebelflecken bis zu unserem Auge zu gelangen, so mögen es wohl längst vergangene Zustände von Sternenwelten sein, welche wir in den Nebelflecken erblicken. Millionen von Jahren sind vielleicht verflossen, seit jene fernen Welten aus dem ungeformten Zustande sich erst zu Gestalt, zu selbständiger Existenz und Bewegung emporrangen. Wo uns die Wellen des Lichtes erst von beginnender Entwicklung berichten, da herrscht in diesem Augenblicke vielleicht höchste Vollendung, geordnete Form und Bewegung. Vielleicht schauen von jenen Welten jetzt auch Bewohner auf unsere Sternenschichte herüber und sehen von all den Gestirnen, welche unseren Himmel bei Tag und Nacht erleuchten, noch nichts als die ersten formlosen Anfänge; sie

Digitized by Google

ahnen nicht, daß hier eine Stätte ist für geistige, ihren Gott erkennende und preisende Geschöpfe.

Die Betrachtung der Nebelflecke hat uns zu den ersten Anfängen der Entwicklung der Gestirne zurückgeführt. Wir bewegen uns hier freilich auf einem unsicheren Boden. Denn es bleibt immer noch möglich, daß die Nebelflecke sich bei stärkeren Vergrößerungen auch in Haufen von gesonderten Sternen verwandeln würden, daß also nur die Mangelhaftigkeit unserer Instrumente sie als formlose Materie erscheinen läßt. Aber auch diese Sternhaufen müßten in einer sehr großen Entfernung von unserer Erde gedacht werden; sie könnten nicht unserer linsenförmigen Sternschichte angehören, deren äußersten Gürtel die Milchstraße bildet; sondern jeder Sternhaufen wäre für sich als eine eigene Sternschichte, als eine für sich bestehende Welteninsel anzusehen.

Mag man also die Nebelflecke für entwickelte oder für erst entwicklungsfähige Welten halten, immer bleiben sie Gebilde, welche außerhalb unserer Firsternwelt liegen. Wie die Planeten und Monde, die Kometen und Firsterne unserer Sternschichte über unserer Erde am dunklen Firmamente glänzen, so ist um unsere ganze Sternschichte ein neues größeres Gewölbe gespannt, von welchem nicht einzelne Gestirne, sondern ganze Welten von Himmelskörpern auf unsere Sternschichte herabschauen. Durch die Lücken unseres Sternenhimmels blicken wir auf diese fremden Welten hinaus, unsicher, wo wir die Gränzen für den unerschöpften Reichthum an leuchtenden Gestalten setzen sollen. Und wenn die Vermuthungen mancher Astronomen gegründet sind, so kommt uns aus den Fernen des Himmelsraumes durch die Wellen des Lichtes Kunde zu, wie Sternenwelten aus kleinen Anfängen entstehen, wie sie zu fester Gestalt allmählig gelangen. In dieser fernen Kunde klingt unserer eigenen Welteninsel die Erinnerung an ihre ersten Anfänge wieder.

Die Zusammensetzung und Gestalt der Gestirne ist, soweit es möglich war, jetzt dargestellt; es sind Winke gegeben über

Digitized by Google

die Entstehung und den Untergang einzelner Gestirne und ganzer Sternenwelten. Wir zeichnen Bewegung, Licht und Wärme, Gestalt und Zusammensetzung der Gestirne noch einmal in kürzeren Zügen; wir suchen die göttlichen Einflüsse, auf welche schon an einzelnen Punkten des Reiches der Gestirne hingewiesen worden ist, in Einer vollen Anschauung zusammenzufassen.

Uebersicht.

Der erste Abschnitt schloß mit einem Ausblick auf die Gestalten der Schöpfung; in den Gestirnen treten die einfachsten und großartigsten Gestalten uns entgegen.

Wo tropfbare Flüssigkeiten sich selbst überlassen sind, wo insbesondere kein anderer, nahe liegender Körper sie an jeder beliebigen Ausdehnung und Gestaltung hindert, da nehmen sie jene Form an, welche ihnen ihren Namen gegeben hat, nämlich die Form von Tropfen. Der Tropfen ist wesentlich kugelförmig; nur die Adhäsion an der Oberfläche anderer Körper, der Widerstand der Luft, durch welche er fällt, verändern mehr oder weniger seine reine Kugelgestalt. Er ist kugelförmig ohne Rücksicht auf die umgebenden Medien; im luftleeren Raum, wie in der atmosphärischen Luft bleibt seine Form wesentlich dieselbe. Wir sind daher genöthigt, zu denken, daß ein inneres Gesetz und keine äußere Zufälligkeit die tropfbaren Flüssigkeiten bestimmt, Kugelform anzunehmen, und wir verdanken vorzüglich Newton die Nachweisung dieses Gesetzes.

Die allgemeine Kraft der Schwere, welche die Planeten in ihren Bahnen um die Sonne festhält, welche den an der Erdoberfläche befindlichen Körpern ihr Gewicht verleiht, ist der Grund der kugelförmigen Anordnung tropfbarer Flüssigkeiten. Der Punkt, von welchem ihre Wirkungen ausgehen, ist der Schwerpunkt der Körper. Nun ist klar, daß die Schwerkraft von diesem Punkte aus nach allen Richtungen gleichförmig

Digitized by Google

thätig ist, und daß die einzelnen Theilchen eines Körpers sich erst dann völlig im Gleichgewichte befinden, wenn sie in allen Richtungen gleichförmig um den Schwerpunkt vertheilt sind. Diese gleichförmige Vertheilung ist nur bei der Kugel möglich, deren Schwerpunkt mit ihrem Mittelpunkte zusammenfällt, deren Oberfläche überall in dem gleichen Maaße vom Schwerpunkte aus angezogen wird, deren einzelne Theilchen endlich, wenn sie gleich weit vom Mittelspunkte entfernt sind, auch völlig den gleichen Druck erleiden. Wo daher ein Körper zugleich genug inneren Zusammenhalt und genug Verschiebbarkeit seiner Theilchen besitzt, da muß er, so weit äußere Umstände es erlauben, danach streben, in der Kugelform das volle Gleichgewicht seiner Theilchen zu erlangen. Die erste Bedingung fehlt den Gasen, und sie erhalten daher die Kugelform nur dann, wenn sie unter dem äußeren Druck tropfbarer Flüssigkeiten als Blasen erscheinen. Die zweite Bedingung findet sich nicht bei den festen Körpen, deren Theilchen nie Verschiebbarkeit genug haben, um aus der einen Form leicht in eine andere überzugehen. So bleiben für die Annahme der Kugelform aus inneren Bedingungen nur die tropfbaren Flüssigkeiten übrig, welche in Bezug auf Verschiebbarkeit und inneren Zusammenhang die Mitte zwischen den extremen Cohäsionsformen halten.

Wir haben für die Planeten früher die Entstehung aus dem tropfbarflüssigen Zustande wahrscheinlich gemacht. Aber alle Analogie zwingt uns, nicht blos für die wohlbegränzten Körper unseres Sonnensystems, für Sonne, Planeten und Monde, sondern auch für alle übrigen Himmelskörper von bestimmter Gestalt die Kugelform als wesentlich anzunehmen. Und wie diese Form sich im Allgemeinen aufs Einfachste aus einem ursprünglich flüssigen Zustande erklärt, so erscheint es passend, von den Planeten auf alle Himmelskörper die Vermuthung auszudehnen, daß ihr Zustand früher der tropfbarflüssige gewesen sei. Wodurch dieser Zustand bedingt war, mag unentschieden bleiben; aber wahrscheinlich ist, daß eine höhere Tem-

Digitized by Google

peratur die Masse der Himmelskörper in feurigem Flusse erhalten hat. Als Tropfen von schwerflüssiger Masse schwebten ursprünglich die geformten Himmelskörper im Weltraume, theils von andern angezogen, theils andere anziehend, theils um ihre eigene Axe sich drehend. Die allgemeine Schwere, welche die Weltkörper alle in Einem ungeheuren Systeme zusammenfaßt, hat jedem einzelnen auch seine ursprüngliche Form gegeben.

So steht die Kugelform der Gestirne in der nächsten und vielseitigsten Beziehung zu jener Kraft, welche den Zusammenhang der Weltkörper vermittelt. Durch die Schwere selbst ordnete sich die Masse der einzelnen Weltkörper um einen gemeinsamen Mittelpunkt kugelförmig an. Durch die Kugelgestalt der Weltkörper werden auf der andern Seite ihre gegenseitigen Anziehungen einfach und klar gemacht. Und so könnte es scheinen, als ob aus diesem Gesetze der Schwere nicht blos die Bewegungen der Gestirne sich erklären ließen, sondern ebenso ihre abgeschlossene Existenz, ihre eigenthümliche Gestalt, welche wir doch früher schon als etwas Unerklärbares bezeichnet hatten. Eine weitere Auseinandersetzung wird diesen scheinbaren Widerspruch aufheben.

Wenn wir die unauflöslichen Nebelflecke mit Recht als Welten betrachten, welche noch auf einer früheren Stufe der Entwicklung stehen, wenn diese Welten bei ihrer Ausbildung wirklich die früher angeführten Stufen durchlaufen haben, so müssen für die Weltkörper im Allgemeinen zwei hauptsächliche Punkte in dem Fortschritte ihrer Gestaltung festgehalten werden. In dem leuchtenden Staube, der sich über größere Strecken des Himmels ausbreitet, entstehen zuerst Stellen von größerer Dichtigkeit und hellerem Glanz; dieß sind die ersten Mittelpunkte der Gestaltung. Wenn um jeden dieser Punkte der leuchtende Stoff sich zusammengezogen hat, so schließt sich das neue Gebilde von seiner Umgebung ab; es hat seine eigene räumliche Existenz gewonnen, und besteht jetzt für sich als ein besonderer Weltkörper oder als ein abgeschlossenes System von Weltkörpern fort. Zuerst also kommt der Anstoß zur Gestaltung

Digitized by Google

eines einzelnen Gebildes und dann mit dem Abschluß dieses Gebildes der Anfang seiner eigenthümlichen Existenz, seiner Bewegung um die eigene Axe und um ein äußeres Centrum. Die Kugel aus strengflüssigem Stoff ist eben die Stufe, auf welcher der Himmelskörper in das System der Gestirne als ein wirksames Glied eintritt. Und nun fragen wir: wo sind die allgemeinen Naturkräfte, welche in den ungeformten Stoff des Himmelsraumes den ersten Trieb zur Gestaltung bringen, welche dann das geformte Gestirn befähigen, eine Existenz für sich zu führen, und nicht, gleich einem zerfließenden Wassertropfen, unmittelbar nach seiner Bildung wieder in die allgemeine, den Weltraum erfüllende Flüssigkeit zurückzusinken?

Die Bewegung der Gestirne, ihre Ausstrahlung von Licht und Wärme, ihre Kugelform begreifen sich aus den allgemeinen Gesetzen der Physik; aber daß einzelne Gestirne entstehen, daß sie in ihrer Einzelheit fortdauern, ist aus keinem Naturgesetze zu erklären. Gott, welchen wir als den Grund der Existenz der Naturkräfte kennen gelernt haben, tritt auch hier sichtbar in Thätigkeit. Als das unzerreißliche Band des Ganzen schlingen sich die Naturgesetze durch das Reich der Gestirne; Gott hält diese Gesetze in gewaltiger Hand; er durchdringt mit wechselloser, jedem Auge offenbarer Ordnung die ungemessenen Weiten des Weltraumes; seine Weisheit und Macht trägt und erhält dieses staunenerregende Gebäude. Aber in der Welt der Gestirne weht zugleich der schaffende Odem Gottes. Was er geschaffen hat, unterwirft er den allgemeinen Gesetzen der Natur; aber er selber ist den Naturgesetzen nicht unterthan, und daher läßt sich aus keinem Naturgesetz begreifen, warum und wie hier oder dort Neues entsteht, warum und wie die göttliche Allmacht aus dem formlosen Stoffe neue Sternenwelten hervorgehen läßt. Das Neue steht da, wie durch einen Zauber, und der menschliche Geist vermag nichts, als mit nachträglichem Scharfsinne zu zeigen, daß das Neue vortrefflich in den Zusammenhang des Ganzen passe.

Digitized by Google

Die schöpferische Macht Gottes, welche einzelne Gestirne entstehen läßt, pflanzt diesen auch die Fähigkeit ein, als besondere Geschöpfe längere oder kürzere Zeit zu existiren. Das Recht der Existenz ist zwar ein begränztes; aber es ist dem Geschöpfe von Gott selbst gegeben. In der Ausstrahlung oder in der Aufnahme von Licht, in der Bewegung um einen Centralkörper oder in der Anziehung von Planeten und Monden, in der Wechselwirkung zwischen den einzelnen Theilen der Himmelskörper, zwischen Atmosphäre, tropfbarflüssiger Hülle und festem Kern, — in allen den mannigfaltigen Beziehungen, welche wir an unserer Erdoberfläche zur Genüge beobachten, äußert sich bei den Gestirnen die reiche Fülle ihrer eigenthümlichen Existenz. Wir tragen allerdings menschliche Regungen auf die Gestirne über; aber es liegt doch eine tiefe Wahrheit darin, wenn wir sagen, freudig und wie ein Held gehe die Sonne einher. Denn, wenn wir den Gestirnen ein Bewußtsein ihrer Existenz zuschreiben dürften, so könnte es unter allen Geschöpfen keine geben, welche in dem Gefühle der wandellosen Ordnung ihrer Bewegungen und Thätigkeiten ein gleiches inneres Genügen empfinden müßten, wie die Sterne unseres Firmamentes, wie die Sonne, die Planeten und Monde unserer Welteninsel. Gegenüber von der schwachen Pflanze, gegenüber von dem ruhelos umgetriebenen Thiere, endlich gegenüber von der unsteten und schwankenden Natur des Menschen wandeln die Himmelskörper ungestört ihre leuchtenden Bahnen.

Wir haben bisher die einzelnen Gestirne, überhaupt die einzelnen Geschöpfe immer nur als geschlossene G e s t a l t e n bezeichnet. Aber es ist jetzt möglich, einen Ausdruck von größerer Schärfe für sie aufzufinden. Jeder Himmelskörper, er mag Fixstern, Planet, Mond oder Komet sein, stellt ein abgeschlossenes Ganzes von eigenthümlichen Eigenschaften dar, und greift mit dieser Eigenthümlichkeit in den Zusammenhang des Ganzen ein. Würde einem Himmelskörper irgend ein Theil genommen, so müßte sogleich seine Eigenthümlichkeit und sein Verhältniß

Digitized by Google

zum Ganzen in größerem oder geringerem Maaße gestört werden. Daher betrachtet man jeden Himmelskörper als ein untheilbares Ganzes; man schreibt ihm Individualität zu. Die Welteninsel, zu welcher unsere Erde gehört, alle Welteninseln, die jenseits unserer Milchstraße liegen, bestehen also aus unzählig vielen Individuen von Himmelskörpern. Individuen gibt es hier zwar von anderer Art, aber doch ebensogut, als im Pflanzen- und Thierreich, als im Geschlechte und in der Gesellschaft der Menschen.

Die Individualität der Geschöpfe läßt sich demnach aus den allgemeinen Naturgesetzen nicht ableiten. Aus diesen begreift sich nur die allgemeine Ordnung des Geschaffenen, und für sich könnten die allgemeinen Gesetze der Natur zu nichts führen, als zu einer absoluten Gleichförmigkeit ohne einzelne, bestimmt unterschiedene Körper. Aber daß gegenüber von den umfassenden Naturgesetzen einzelne Geschöpfe hervortreten, räumlich von den übrigen getrennt und durch eine eigenthümliche Verbindung von Eigenschaften ausgezeichnet, dieses folgt aus keinem natürlichen Gesetze, läßt sich aus keiner Kraft oder Bewegung der Natur erklären. So wie der Grund der Existenz der Natur, ihrer Kräfte und Gesetze nicht in der Natur selbst gesucht werden kann, ebenso ist man gezwungen, den Grund der Individualität der Geschöpfe, wenn man überhaupt nach einem solchen forscht, außerhalb der Natur anzunehmen. Er ist, wie wir in der Uebersicht des ersten Abschnittes andeuteten, in Gott als den Schöpfer und Erhalter der Welt zu setzen.

Die Individualität, welche sich zum erstenmal und mit einleuchtender Klarheit bei den geformten, in sich abgeschlossenen Himmelskörpern zeigt, hat vor Allem zu ihrem eigentlichen Grunde, zu der schöpferischen Macht Gottes hinaufgeleitet. Es bleibt jetzt noch hervorzuheben, wie sich die Individualität der Himmelskörper in den Einzelheiten ihrer Erscheinung ausspricht. Hier kommt zuerst in Betracht, daß ein großer Theil

Digitized by Google

der Eigenthümlichkeit der Himmelskörper auf der Art und Weise beruht, in welchen die allgemeinen Kräfte und Thätigkeiten der Natur an jedem einzelnen auftreten. Die verschiedenen Grade der Cohäsion und Dichtigkeit, von welchen die Planeten und Kometen die beiden Extreme darstellen, die Unterschiede der Lichtverhältnisse, je nachdem die Himmelskörper selbstleuchtend oder nur von außen erleuchtet sind, die Verschiedenheiten der Bahnen, durch welche Kometen, Planeten und Sonnen so auffallend von einander abweichen, endlich die ungleiche Zusammensetzung der Gestirne, indem die einen mit einer Atmosphäre versehen, die andern nur aus einem festen Körper gebildet sind, indem die einen, nämlich die Planeten, einen wohlbegränzten festen Körper, die andern, nämlich die Kometen, nur eine Spur von festem Kerne besitzen, — alle diese Punkte geben den einzelnen Himmelskörpern je nach ihrer Verbindung ein bestimmtes, individuelles Gepräge; sie sind aber nichts Anderes, als Aeußerungen der allgemeinen Thätigkeiten der Natur in besonderer Weise.

Der eigentliche Abschluß der Individualität wird erst dadurch erreicht, daß sich die Himmelskörper nach allen Seiten abgränzen, daß sie nicht blos in ihren Eigenschaften, sondern auch in ihrer räumlichen Existenz sich als besondere, von allen andern gesonderte Geschöpfe darstellen. Insofern ist die Gestalt allerdings der Schlußstein der Individualität; diese wird erst dadurch vollständig erreicht, daß der Himmelskörper sich nach allen Seiten kuglig abschließt. Die Gestalt paßt zu allen Eigenthümlichkeiten der Geschöpfe; sie macht bei den Gestirnen die einfachen Massenanziehungen möglich; sie verändert sich bei vielen Planeten unter dem Einflusse der Axendrehung; sie veranlaßt wahrscheinlich, daß die Monde immer dieselbe Seite ihren Planeten zukehren. Aber das Zustandekommen der Gestalt überhaupt läßt sich ebensowenig aus der Eigenthümlichkeit einzelner Körper, als aus den allgemeinen Naturgesetzen begreifen. Hier offenbart sich sehr deutlich der schaffende und

Digitized by Google

formende Einfluß des Urhebers aller Dinge. Die Gestalt ist eigentlich das Siegel, welches der Schöpfer dem einzelnen Geschaffenen aufdrückt, als eine Erinnerung an den übernatürlichen Ursprung und als ein Zeichen von dem Rechte einer besonderen, eigenthümlichen Existenz.

Die göttliche Kraft der Gestaltung wirkt in allen Individuen der Schöpfung auch nach ihrer ersten Entstehung fort. Man sieht die Pflanze, wenn sie über den Boden sich erhoben hat, mannigfaltige, von der äußern Umgebung unabhängige Formen durchlaufen; man erkennt, wie das Thier in engeren Gränzen, aber mit großer Freiheit seine Formen durch Wachsthum abändert. Es ist natürlich, ähnlichen Veränderungen auch bei den Gestirnen nachzuforschen. Aber hier verlassen uns beinahe alle Thatsachen. Es bleibt als Anhaltspunkt nur der Biela'sche Komet mit seiner räthselhaften Theilung in zwei Kometen übrig. Sollten in der That auch sonst Selbsttheilungen der Gestirne vorkommen? sollte durch solche Theilungen die Zahl der Gestirne und der Sternsysteme sich ohne bestimmte Gränzen vergrößern können? Aus dem einfachen Polypen wächst durch fortdauernde Selsttheilung und Knospung ein ganzer Polypenstock hervor; die Individuen, welche dem ursprünglichen Polypen ihre Existenz verdanken, hängen theils durch die Aeste des Stockes, theils durch Verzweigungen der Verdauungshöhle mit einander zusammen. Vermag nicht ein einzelner Himmelskörper auf ähnliche Weise durch Anziehung äußerer Stoffe zu wachsen, und zu einem immer verzweigteren, durch das Gesetz der Schwere zusammengehaltenen Systeme von Sternindividuen sich auszubilden? Unsere irdischen Erfahrungen drängen uns, auch für die Gestirne eine bestimmte Entwicklung und Weiterbildung ihrer Formen anzunehmen. Aber wie eine Gestalt hier aus der andern folgt, können wir nur aus spärlichen Andeutungen zu errathen suchen. Mit dem Wechsel der Gestalt müssen auch Veränderungen der übrigen Eigenschaften, insbesondere der innern Zusammensetzung der

Gestirne gleichen Schritt halten; indeß fehlen uns für die Untersuchung dieser Punkte sogar die kärglichen Spuren, welche uns zu der Selbsttheilung der Himmelskörper als zu einem nicht unwahrscheinlichen Vorgange leiteten.

Die sparsame Kunde von den Anfängen und der weiteren Entwicklung der Himmelskörper ist aus den weitesten Fernen des Himmelsraumes und von der Gruppe der wandelbaren, unselbständigen Kometen zu uns gelangt. Die Himmelskörper, welche uns dem Raume und ihrer innern Beschaffenheit nach näher stehen, nämlich die Sonne, die Planeten und Monde unseres Systemes, haben, soweit die menschlichen Beobachtungen hinaufreichen, noch nie eine dauernde oder zunehmende Veränderung ihrer Bahnen oder Gestalten dargeboten. Wir dürfen uns denken, daß sie, trotz einzelnen, untergeordneten Veränderungen, noch im Wesentlichen dieselben sind als damals, wo ihre strengflüssige Masse anfing, an der Oberfläche zu erstarren und eine dauernde Gestalt anzunehmen. Seither hat ihre Gestalt und Bewegung noch keinen merklichen Wechsel erlitten, sie sind noch „herrlich, wie am ersten Tag." Wie damals, schauen sie noch jetzt auf den Wohnsitz des Menschengeschlechtes, auf Geburt und Tod, auf die wechselnden Schicksale der irdischen Geschöpfe herab. Wenn irgendwo in der Schöpfung, so offenbart sich Gott in den Gestirnen als der weise und mächtige Erhalter des durch Weisheit und Macht Erschaffenen. Wenn die Natur die Wandellosigkeit des göttlichen Wesens überhaupt auszudrücken vermag, so steht diese für jeden Empfänglichen in den Sternen des Firmamentes deutlich geschrieben.

Die Seltenheit einer Veränderung im Reiche der Gestirne steht gewiß mit der Einfachheit aller Verhältnisse der Himmelskörper im nächsten Zusammenhang. Die wechselseitigen Beziehungen der Gestirne werden allein oder doch sehr überwiegend durch Eine Kraft, durch die Schwere, geregelt; unter den Ausflüssen der Himmelskörper steht das Licht unbedingt obenan.

Digitized by Google

Schwere und Licht stimmen aber gerade darin überein, daß sie von den allgemeinen Thätigkeiten der Natur die universellsten sind, daß die Eigenthümlichkeit einzelner Körper gegenüber von ihnen am meisten zurücktritt. Daher vermögen einzelne, untergeordnete Einflüsse das allgemeine Band der Schwere, welches die Himmelskörper verbindet, nicht zu lockern; daher dauern die Ausströmungen des Lichtes Jahrtausende lang ungehindert und in derselben Weise fort. Und dieser Einfachheit und Sicherheit der Verhältnisse entspricht auch die Form der Weltkörper. Wie die Kugelform aus der Massenanziehung der Körper unmittelbar folgt, wie sie in ein System, welches auf Massenanziehung gegründet ist, am besten paßt, so stellt sie auch, abgesehen von aller Anziehung und Bewegung, die einfachste Form der Körper dar. Sobald die Verhältnisse mannigfaltiger und verwickelter werden, tritt die Gestalt der Körper aus der Kugel heraus, sei es nun in den vielflächigen Krystall, sei es in die verzweigte, von gekrümmten Flächen begränzte Form der Pflanzen und Thiere. Die Kugel ist die Grundlage aller Formen, und in dieser Beziehung gehört sie ganz in jene Körperwelt, welche durch die Sicherheit und Einfachheit ihrer Gesetze die Grundlage bildet, auf welcher die anderen, wechselvollen Geschöpfe entstehen, leben und vergehen.

Wie die Pflanzen und Thiere in Klassen, Ordnungen und Familien eingetheilt werden, so lassen sich auch die Himmelskörper nach ihren Aehnlichkeiten in mehrere natürliche Gruppen zusammenfassen. Wir haben auf diese Gruppen schon früher aufmerksam gemacht.

In der Mitte unseres Planetensystemes steht als Hauptkörper die Sonne, gegenüber von den untergeordneten Körpern unbewegt, alle zusammen an Masse bei weitem übertreffend, von festbegränzter, kugliger Gestalt, aus einem dunklen Körper und einer leuchtenden Atmosphäre zusammengesetzt. Die Weltkörper, welche um die Sonne kreisen, zerfallen in zwei Abtheilungen. Die einen, nämlich die Kometen, zeigen keine deutliche

Scheidung von festem Kern und tropfbarflüssiger oder gasförmiger Hülle; ihre ganze Masse ist sehr dünn, durchsichtig, ihre elliptischen Bahnen sehr langgestreckt, ihre Zahl sehr bedeutend. Diesen stehen die Planeten gegenüber, mit festem, undurchsichtigem Kern, tropfbarflüssiger und gasförmiger Hülle und mit Bahnen, welche sich dem Kreise nähern; ihre Zahl ist beschränkt, bis jetzt zwanzig. Aber auch diese Planeten zeigen noch unter sich auffallende Unterschiede; in der Mitte zwischen den vier äußersten und den vier innersten Planeten stehen jene zwölf kleinen Planetoiden, welche unter einander die größte Aehnlichkeit haben, deren Abstände von der Sonne nahezu übereinstimmen, und deren ganze Gruppe erst zusammengenommen einem der andern, größern Planeten verglichen werden dürfte. Sollte die Vermuthung einiger Astronomen gegründet sein, daß diese Planetoiden nur die Bruchstücke eines größeren Planten darstellen?

Die Gruppe der Monde ist vielleicht eben so natürlich, wie die der größeren Himmelskörper, um welche sie kreisen. Ohne Atmosphäre und ohne tropfbarflüssige Hülle, als blos feste Körper, bilden sie unvollkommene Begleiter der Wandersterne. Die Ringe des Saturn sind mit ihnen als eine ähnliche, aber niedrigere Stufe zu vergleichen.

Eine vollständige Einsicht in die Körper unseres Sonnensystemes dürfte nicht allein, wie es bis jetzt möglich ist, die Bewegungen jener Körper aus ihrer Größe und Dichtigkeit, aus ihrer Masse erklären. Sie müßte auch im Stande sein, die innere chemische Zusammensetzung des festen Kernes und seiner Hüllen mit der Masse und Bewegung jedes Körpers in Beziehung zu bringen. Sie müßte die chemischen Vorgänge an der Oberfläche und im Innern der Planeten und Monde, die physikalischen und chemischen Veränderungen in Kern und Hülle der Kometen, die Ursache des Leuchtens der Sonnenatmosphäre, überhaupt die chemischen Processe an der Oberfläche des Sonnenkörpers deutlich zu machen vermögen. Aber von einer solchen eigentlichen Naturgeschichte der Glieder unseres Systemes sind

Digitized by Google

wir noch sehr weit entfernt und werden wir wohl immer weit entfernt bleiben. Wir machen nur Analogieschlüsse von unserer Erde auf die übrigen Planeten; wir suchen die physikalischen und chemischen Unterschiede zwischen unserer Erde und Monden, Kometen und Sonne so gut als möglich uns zu vergegenwärtigen. Aber wenn für die Bewohner der Erde die Beurtheilung der anderen Körper unseres Sonnensystemes schwierig ist, so läßt sich bei den selbstleuchtenden Gestirnen des Fixsternhimmels eine einigermaßen genügende Vorstellung von ihrer Natur noch weniger erreichen. Wir vermuthen nur, daß die Fixsterne, wie unsere Sonne, durch ihre Atmosphäre leuchten, und um ihre eigene Axe sich drehen; wir wissen, daß die Bewegung der selbstleuchtenden Doppelsterne um ihren gemeinsamen Schwerpunkt von den Bewegungen, welche innerhalb unseres Planetensystemes geschehen, wesentlich abweicht.

So bleibt für die Erkenntniß der Gesetzmäßigkeit des Weltsystems bis jetzt nur die Bewegung der Gestirne übrig. Die einzelnen Individuen des Systemes drehen sich kreisförmig um ihre eigene Axe; um Schwerpunkte, welche außer ihnen liegen, bewegen sie sich vielleicht alle in elliptischen Bahnen. Wir verstehen in dieser Beziehung die Doppelsterne, deren gemeinsamer Schwerpunkt in der Mitte zwischen zwei oder mehreren Himmelskörpern liegt, fast ebensogut als die Planeten, Kometen und Monde, welche um massige Centralkörper als die Träger des Schwerpunktes sich bewegen. Von den untergeordneten Trabanten steigt die Stufenleiter hinauf zu den Planeten. Planeten und Kometen weisen auf die Sonne hin. Die Sonne und alle Einzelsterne oder Sternsysteme unserer Welteninsel müssen um einen gemeinsamen Schwerpunkt sich bewegen. Mädler vermuthet, daß dieser Schwerpunkt in der leuchtenden Plejadengruppe und zwar zunächst in einem Sterne derselben, in der Alcyone, zu suchen sei. Hier läge nach Mädler jene Centralsonne, um welche Millionen von Sonnen, bis zu den entferntesten Gegenden der Milchstraße hin sich bewegen, um

Digitized by Google

welche unsere Sonne ihren Weg in 18 Millionen Jahren zurücklegt. Aber diese Annahmen sind bis jetzt noch nicht genug gesichert. Und wer könnte es sich vollends erlauben, den Mittelpunkt für alle Welteninseln anzugeben, auf welche wir aus den Lücken unserer Sternschichte hinausblicken, welche uns theils als Sternhaufen, theils als Nebelflecke erscheinen? Hier erlahmt vor der Größe des Raumes und der Zahlen der Flug der kühnsten Phantasie. Aber wir fühlen uns innerlich gedrungen, auch für diese ungezählten Welteninseln eine Fortbewegung im Raume, einen gemeinsamen Schwerpunkt anzunehmen.

Die erhabene Ordnung, welche in dem Reich der Gestirne herrscht, beruht auf dem harmonischen Zusammenwirken der vielen Millionen von Sternindividuen. Jedes einzelne ordnet hier die eigene Individualität dem Zwecke des Ganzen unter. Die chemischen Processe, welche in jedem Gestirne auf eigenthümliche Weise vor sich gehen, die verschiedenartigen Substanzen, welche die einzelnen Gestirne zusammensetzen, haben keinen andern Erfolg, als jedem Weltkörper diejenige Masse, d. h. bei einem gewissen Umfange dasjenige absolute Gewicht zu geben, welches zu seinen Bewegungen an diesem Orte und in diesem Momente am besten paßt. Die individuelle Existenz, welche der Schöpfer jedem Gestirne verliehen hat, jener ursprüngliche, centrifugale Stoß vermag keinen Weltkörper von dem Brennpunkte seiner Bahn in die Fernen des Weltraumes auf neue Wege fortzureißen; jener Stoß reicht nur gerade hin, um die Individualität gegenüber den mächtigen Mittelpunkten der Sternsysteme zu wahren. In diesem richtigen Gleichgewichte zwischen Individuellem und Allgemeinem ist die Ordnung des Weltsystemes begründet; aus dieser Harmonie schöpfen wir Befriedigung gegenüber von den disharmonischen Kämpfen der Menschen, wo die einzelnen Individuen unter sich und mit dem Allgemeinen um die Herrschaft ununterbrochen hadern.

Gegenüber von dieser scharfen Ordnung, wo die Schwere überall herrscht, und die Masse der Himmelskörper den Grad

Digitized by Google

ihrer gegenseitigen Anziehung bestimmt, zeigt sich auf den ersten Blick nirgends ein Hinderniß, welches nach längerer oder kürzerer Zeit diese ruhigen und einfachen Bewegungen stören oder zum Stillstand bringen könnte. Aber es entspricht dem Begriffe des Geschaffenen, daß es den Keim seines eigenen Unterganges in sich trägt; und wir haben gezeigt, daß dieses ohne Zweifel auch im Systeme der Himmelskörper nicht anders ist. Die dünne, fast widerstandlose, elastischflüssige Substanz, welche die Zwischenräume der Gestirne ausfüllt, vermag die Bewegung der Kometen so rasch zu verändern, daß menschliche Aufmerksamkeit die Veränderung erkennt. Aber vor der götilichen Macht, welche das Geschaffene vernichtet und Neues an seine Stelle setzt, sind Jahre oder Tausende und Millionen von Jahren nicht wesentlich verschieden. Der Widerstand, der die Bahnen der Kometen verändert, muß ebensogut, nur in viel längeren Zeiträumen, auch die regelmäßige Bewegung der Planeten und der Sonnen stören. Wenn dieser Widerstand die Kometen der Sonne nähert, so müssen auch die Monde den Planeten, die Planeten der Sonne und alle Sonnen ihrem gemeinsamen Schwerpunkte allmählig näher rücken; und es ist fast nothwendig anzunehmen, daß die einen Gestirne früher, die andern später in den Brennpunkt ihrer Bahnen zurückkehren werden. Dieses ganze wunderbare Gebäude der Welt wird einst zusammenstürzen, und es geziemt dem menschlichen Scharfsinne nicht danach zu forschen, was die göttliche Macht und Weisheit an die Stelle des Alten, Zerstörten setzen wird.

Wir haben für das Reich der Gestirne einen Anfang angenommen; wir müssen folgerichtiger Weise auch ein Ende desselben denken. Vor der göttlichen Macht, welche das Weltgebäude erschaffen hat, muß es nach Millionen von Jahren wieder als ein Geschöpf vergehen. Wie wir nun gewöhnt sind, das Leben der Thiere oder Pflanzen zu überblicken und nach seinen Zwecken zu fragen, so mag dasselbe auch bei der Betrachtung der Gestirne erlaubt sein. Eine Pflanze z. B.

erfüllt vor Allem den Zweck ihrer eigenen Existenz; alle ihre Theile, alle ihre Organe wirken so zusammen, daß die Pflanze wächst, daß sie an dem wachsenden Stengel Blatt um Blatt entwickelt, daß sie endlich in der Blüthe die höchste Stufe ihrer Entwicklung erreicht. Aber das Leben der Einzelpflanze greift auch noch in einen allgemeineren Zusammenhang ein. Aus ihrem Samen entstehen neue pflanzliche Individuen derselben Art; der Untergang ihrer Blüthe gibt also den Anstoß zur Entstehung neuer Gestalten. Dann dient die Pflanze zur Ernährung von Thieren; ihre Substanz unterhält also das Leben von Organismen, welche von der Pflanze wesentlich verschieden sind. Die Pflanze erfüllt demnach Zwecke von dreierlei Art: Zwecke des Individuums, Zwecke der Art und Zwecke des allgemeinen organischen Lebens auf der Erde.

Von ähnlichen Zwecken läßt sich bei den Gestirnen für jetzt nur Einer sicher hervorheben. Wie ein irdischer Organismus, enthält das Weltgebäude verschiedenartige Glieder, welche in mannigfachen Abstufungen und Gruppen zu der gesetzmäßigen Bewegung des ganzen Systemes zusammenwirken. Was wir bisher als Individuen betrachtet haben, erscheint in dieser Anschauungsweise nur als ein einzelner Theil des großen, festgegliederten Ganzen. Diese Erhaltung der inneren Ordnung des Weltsystemes ist also der erste Zweck, welchen die Gesammtheit der Himmelskörper erfüllt. Wir wissen keine anderen Geschöpfe, die den Gestirnen in der gleichmäßigen Ausführung der göttlichen Gesetze ihrer Existenz einigermaßen zu vergleichen wären. Ob sodann unser Weltgebäude auf ähnliche Weise, wie die befruchtete Pflanze, zu künftigen Welten die Keime in sich trägt, kann weder bejaht noch verneint werden. Es ist aber für viele Gemüther ein Bedürfniß, und es widerspricht keineswegs den Lehren der geoffenbarten Religion, unsre Welt sich nur als ein Gehäuse zu denken, aus welchem der Keim einer höheren Form am Ende der Tage hervorbrechen soll. Auch der dritte Zweck des pflanzlichen Organismus findet

Digitized by Google

in dem Reich der Gestirne sein Gegenbild. Die Organismen, welche auf der Erde und vielleicht auch auf mehreren der übrigen Weltkörper leben, gehören einer anderen Klasse von Geschöpfen an, als die Himmelskörper selbst. Es wird die Aufgabe künftiger Abschnitte sein, die Art und Weise darzuthun, wie unsere Erde sich zu einem Wohnorte organischer Geschöpfe gestaltet; es wird am Ende unserer Untersuchung jener Uebergang bezeichnet werden, welchen der Mensch, als das höchste irdische Geschöpf, von dieser Welt des Geschaffenen zu einem anderen, erhabeneren Gebiete vermittelt.

Wenn wir unserm Reich der Gestirne einen Anfang und ein Ende setzen, so ist damit natürlich nicht entschieden, ob vor diesem Reiche andere, ähnliche Schöpfungen bestanden haben, ob nach ihm andere bestehen werden. Es zwingt uns nur der Gegensatz zwischen Schöpfer und Geschaffenem, für unser Weltgebäude eine begränzte zeitliche Existenz anzunehmen. Seine Zeit begann mit seiner Erschaffung, und sie wird mit seinem Untergang ein Ende nehmen. Aus demselben Grunde können wir auch die räumliche Ausdehnung unseres Weltgebäudes uns nicht als eine unbegränzte denken. Aber außerhalb der Schranken dieser Welt kann es noch andere Welten geben, von welchen nie eine Kunde zu uns gedrungen ist. Wir verlieren uns indeß von unserem sicheren Boden der Erfahrung, wenn wir über die räumlichen und zeitlichen Gränzen des Weltgebäudes, in welches unsere Erde als ein Glied eingreift, mit unserer Phantasie oder Spekulation hinausgehen. Es ist hier nicht der Ort, über die Begriffe von Zeit und Raum, über das Verhältniß des Schöpfers zu Zeit und Raum weitläufige philosophische Untersuchungen anzustellen. Daher mag die Bemerkung genügen, daß Zeit und Raum nichts sind als Erscheinungsformen des Geschaffenen, daß sie also für den Schöpfer gar nicht bestehen. Gott schafft unabhängig von Zeit und Raum; aber unter allen Kennzeichen des Endlichen sind die beiden offenbarsten die, daß die Dinge nicht, wie in dem göttlichen Geiste,

Digitized by Google

zugleich und in inniger, wechselseitiger Durchdringung, sondern nur in zeitlicher Aufeinanderfolge und in räumlichem Nebeneinandersein existiren.

Wir sind der rechten Erkenntniß des Verhältnisses zwischen Schöpfer und Geschaffenem in diesem Abschnitte um ein Bedeutendes näher gerückt. Zu der allgemeinen Gesetzmäßigkeit, welche im Wirken der Naturkräfte sich offenbart, ist hier die Individualität der Geschöpfe als ein Punkt von höchster Wichtigkeit hinzugekommen. Alle Beziehungen, alle Seiten der Existenz, welche überhaupt an Geschöpfen unterschieden werden können, treten schon an den Gestirnen hervor. Aber über aller Mannigfaltigkeit herrscht hier noch das strenge Gesetz der Schwere, welches die Individuen zur festen und ungetrübten Harmonie des Ganzen zusammenhält. Aus diesem Reiche der Ordnung und des Maaßes treten wir heraus. Die Erde, welche wir jetzt ins Auge fassen, wird eine größere Freiheit, eine scheinbare Willkühr in der Wirksamkeit der Naturkräfte darbieten. Es wird aber aus der anscheinenden Regellosigkeit hier eine andere, mehr vermittelte und höhere Art der Gesetzmäßigkeit sich ergeben.

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Die Erde.

Wie alles sich zum Ganzen webt,
Eins in dem andern wirkt und lebt!
Wie Himmelskräfte auf und nieder steigen
Und sich die goldnen Eimer reichen,
Mit segenduftenden Schwingen
Vom Himmel durch die Erde dringen!

Göthe.

Wir betreten den Schauplatz der Thaten und Schicksale des Menschengeschlechtes. Aber, wie schon aus der allgemeinen Schilderung der Planeten hervorgeht, wir handeln nicht von dem Erdkörper allein, sondern zugleich von den Wassermassen, welche unter verschiedenen Formen seine Oberfläche bedecken, und von der gasförmigen Hülle, die den Erdkörper als Atmosphäre rings umschließt.

Die Erde gilt uns, wie alle Himmelskörper, als ein Individuum, als ein in sich geschlossenes Ganzes. Fester Körper, tropfbarflüssige und gasförmige Hülle können daher nicht als für sich bestehende Geschöpfe, sondern nur als Theile des Erdindividuums betrachtet werden. Sie sind räumlich nicht scharf von einander getrennt; sondern das eine greift vielfältig in das andere über. Außerdem aber stehen zwischen festem Erdkörper, tropfbarflüssiger Hülle und Atmosphäre noch Geschöpfe

Digitized by Google

in der Mitte, welche man gewöhnlich als Organismen bezeichnet, die Pflanzen, die Thiere und der Mensch. Sie können zwar nicht in demselben Sinne, wie ein Stein, ein Theilchen Luft oder Wasser, nur als Stücke des Erdganzen betrachtet werden; sie stellen sich in Einer Beziehung der Erde wieder als Individuen eigener Art gegenüber; aber in die chemischen und physikalischen Processe, welche an der Erdoberfläche vor sich gehen, greifen sie doch so innig ein, sie hängen von diesen Processen so wesentlich ab, daß man nicht umhin kann, sie in dieser Rücksicht als nothwendige Glieder in der Aufeinanderfolge der irdischen Vorgänge anzusehen. Bei der Schilderung des Erdganzen kommen daher sogleich auch die irdischen Organismen zur Sprache.

Gehen wir von unserem menschlichen Standpunkte aus, welcher hier den Standpunkt der Organismen überhaupt in der reinsten und höchsten Weise darstellt, so verläuft unser ganzes Leben in der Mitte zwischen dem festen Erdkörper und seiner gasförmigen Hülle. Der Erdkörper dient uns als feste Unterlage bei allen Bewegungen unseres Leibes; von dieser Unterlage ragen unsere Organe in den Luftkreis hinein, welcher ihren Ortsveränderungen einen möglichst kleinen Widerstand entgegensetzt. In der Mitte zwischen diesen Extremen steht das Wasser der Erdoberfläche. Unser Körper weicht von diesem in seinem specifischen Gewichte kaum ab; er schwimmt ohne weitere Hilfe im Wasser; aber andere Beziehungen machen dem Menschen einen dauernden Aufenthalt im Wasser, wie er vielen Thieren und Pflanzen zukommt, völlig unmöglich. Diese wenigen Züge reichen hin, um die Unterschiede anzudeuten, welche für das Leben der Organismen zwischen dem Erdkörper, seiner tropfbarflüssigen Hülle und seiner Atmosphäre bestehen. Der erste gibt dem ganzen Leben Unterlage und Festigkeit; von der letzten erhält es den Anstoß und die Möglichkeit freierer Bewegung; das Wasser dient vorzüglich als Träger, als Vermittler der Einflüsse von Luft und Erdkörper.

Digitized by Google

Wenn der menschliche Leichnam verwest, so bleibt von seiner ganzen, bedeutenden Masse nur wenig an der Erdoberfläche zurück; der größere Theil seiner Substanzen wird von Wasser und Luft weggeführt; jenes Wenige aber schließt sich der Masse des Erdkörpers an und läßt sich von dieser fernerhin nicht mehr unterscheiden. Wenn man Pflanzentheile, Holz oder Kohle verbrennt, so bleibt etwas Asche übrig, welche mit den Bestandtheilen unseres Erdkörpers in ihrer Zusammensetzung völlig übereinstimmt. Diese Stoffe, welche die Organismen bei ihrer Zerstörung dem Erdkörper überlassen, sind ursprünglich vom Erdkörper selbst genommen gewesen. Sie sind entweder unmittelbar mit dem Wasser, das der Mensch trank, das die Pflanze durch ihre Wurzel aufsaugte, in die organischen Körper gelangt, oder waren sie schon länger in das organische Reich aufgenommen und in der pflanzlichen oder thierischen Nahrung von einem Organismus in den andern übergegangen. Diese mineralischen, d. h. von dem Erdkörper herrührenden Bestandtheile ertheilen den organisirten Geschöpfen vorzüglich ihre Festigkeit. Das Holz der Bäume, die Schalen der Muscheln, die Knochengerüste der höheren Thiere sind besonders reich an mineralischen Substanzen, und von ihnen wird der Form jener Organismen erst die feste Unterlage gegeben.

Auf der einen Seite also betheiligt sich der Erdkörper selbst an der Zusammensetzung der irdischen Organismen; seine Stoffe gehen in die organischen Körper über und kehren aus ihnen nach längerer oder kürzerer Zeit wieder zu ihrem Ursprunge zurück. Aber der Erdkörper erscheint außerdem als eine nothwendige Bedingung des Lebens vieler Organismen, weil er den Boden hergibt, auf welchem nährende Pflanzen gedeihen. Insbesondere ist es das Leben des Menschen, welches in körperlicher und geistiger Beziehung mit dem Wachsthum der Getreidearten aufs innigste zusammenhängt. Die Erde stellt sich dem Menschen als der Ursprung, als die Geberin aller nützlichen Gewächse dar. Und dieß ist die andere Seite,

durch welche der Erdkörper eine Grundlage der Existenz organischer Körper bildet; auch in dieser Beziehung wirkt er nicht geradezu erregend, Leben erweckend; sondern er verschafft zunächst den Organismen Nahrungstoffe, Substanz zur Erneuerung ihrer eigenen Masse.

Hält man diesen Wirkungen den Einfluß der Atmosphäre entgegen, so springt der Gegensatz sogleich in die Augen. Die Flamme, welche Holz oder Kohle verzehrt und nichts von ihnen zurückläßt als ein Häufchen Asche, wird durch das Sauerstoffgas der Atmosphäre angefacht und unterhalten. Auf ähnliche Weise ist dieses Sauerstoffgas zur Unterhaltung des Athmungsprocesses der Thiere durchaus nothwendig; es dringt in die menschlichen Lungen ein, verbindet sich dort mit Stoffen, welche das Blut enthält, und wird zum größeren Theile als kohlensaures Gas, mit Kohlenstoff verbunden, wieder ausgehaucht. In beiden Fällen erscheint das Sauerstoffgas nicht als eine Substanz, welche aus der Atmosphäre an irdische Körper übergeht, sondern als ein Stoff, welcher Holz oder thierische Körper zu chemischen Processen, zum Brennen oder Athmen anregt; die Produkte seiner Einwirkung bleiben nicht bei den Körpern, die es verändert, sondern gehen ganz oder zum größten Theile gasförmig in die Atmosphäre zurück. Der Athmungsproceß selbst stellt sich als ein Vorgang dar, welcher dem Körper keine Nahrung zuführt, welcher vielmehr aufs Beste dazu dient, die Umwandlung der aufgenommenen Nahrungstoffe in gesundes und taugliches Blut zu vollenden. Sobald die Athmung stockt, verändert sich die Beschaffenheit des Blutes, und dieses wird insbesondere untauglich, die Thätigkeit des Gehirns zu unterstützen; die höchsten Aeußerungen des organischen Lebens, die Klarheit des Bewußtseins und die Freiheit der Reflexion werden beeinträchtigt.

So scheinen Erdkörper und Atmosphäre sich schroff gegenüber zu stehen. Jener liefert unmittelbar die mineralischen Substanzen, welche der Organismus vorzüglich zur Bildung

Digitized by Google

seiner festen Theile bedarf; er dient den Nahrungspflanzen als Boden ihrer Entwicklung und gewährt dadurch mittelbar die Nahrungsstoffe, auf welchen die Existenz des ganzen Thierreiches beruht. Im Ganzen also gibt er den Organismen und namentlich dem Menschen die Substanz, aus welcher ihre Masse gebildet wird. Die Atmosphäre hingegen, und vorzüglich ihr Sauerstoffgas scheinen zur Ernährung der Organismen nichts beizutragen; sie dienen vielmehr als Mittel zu jener Erregung, welche nöthig ist, um in jedem einzelnen Organismus aus den von außen zugeführten Nahrungsstoffen eine Säftemasse von richtiger Zusammensetzung zu erzeugen. Der Erdkörper würde also die formlose, unbelebte Substanz, die Atmosphäre den belebenden Reiz für die Organismen geben.

So gut der Gegensatz von Kraft und Materie ein künstlicher, nicht in der Natur begründeter ist, ebensogut darf der Gegensatz zwischen Erdkörper und Atmosphäre nicht so schroff, wie es eben geschehen ist, gefaßt werden. Auch die Nahrungsstoffe, welche mittelbar oder unmittelbar vom Erdboden her den organischen Körpern zugeführt werden, sind Lebensreize; auch der Sauerstoff und Stickstoff der Atmosphäre werden zur Ernährung, zur Bildung von neuem organischem Stoffe verwendet. Aber soviel bleibt richtig, daß der Erdboden sowohl Pflanzen als Thieren den bei weitem größeren Theil ihrer Nahrung liefert oder zuführt, daß die Atmosphäre viel weniger zur Ernährung als nur zur Anregung organischer Processe dient. Dieser bedingte Gegensatz entspricht vollkommen der Natur und zieht sich, für Jedermann sichtbar, durch alle Formen hindurch, welche Erdkörper und Atmosphäre in dem Bewußtsein der Menschen angenommen haben.

Zu diesem Unterschiede kommt noch hinzu, daß von den Theilen der Erde der feste Körper derjenige ist, welcher ihre Mitte bildet, in den ihr Schwerpunkt fällt, an den wir durch das Gesetz der Schwere gebannt sind. Alles Endliche und Beschränkte, was unserer Natur anklebt, scheint daher in dem festen

Körper der Erde seinen Ursprung zu haben. Die Atmosphäre hingegen gewährt unsern Gliedern freie Bewegung; sie gestattet uns den Ausblick auf die Gestirne des Himmels, vom nächsten Monde an bis zu den entferntesten Nebelflecken des Weltraumes; sie vermittelt unsere Beziehungen zu allen Regionen und Körpern, welche jenseits dieses nächsten Schauplatzes unserer Thätigkeit liegen. Wir blicken daher zum Luftkreise empor, wie zu einem allgemeineren, umfassenderen Gebiete; wir begreifen ihn mit den Gestirnen, deren Anblick wir ihm verdanken, unter dem Ausdrucke des Himmels, und zu diesem erheben sich die Seelen der Menschen von dem einzelnen, beschränkten Planeten, welchen wir Erde nennen. Auch dieser Gegensatz, welchen das gewöhnliche menschliche Bewußtsein zwischen Luftkreis und Erde macht, ist kein völlig natürlicher; aber er hat doch insofern eine gewisse Berechtigung, als wir von dem Erdkörper nur Eindrücke des planetarischen Individuums, von der Atmosphäre aber außerdem auch die Licht- und Wärmestrahlen aus den fernen Gegenden des Himmelsraumes, also allgemeinere, kosmische Eindrücke erhalten.

Bei den bisherigen Bemerkungen sind wir ganz vom Thatsächlichen ausgegangen; aber es war nicht unser Zweck, wissenschaftliche Schlüsse daraus zu ziehen; sondern aus den natürlichen Unterschieden der einzelnen Theile des Erdganzen sollte der Gegensatz erklärt werden, welchen das gewöhnliche Bewußtsein der Menschen zwischen Luftkreis und Erdkörper macht. Hier ist es nun von Wichtigkeit, die Beziehungen dieses Gegenstandes zu den religiösen Begriffen der Völker hervorzuheben.

Wenn Erdkörper und Atmosphäre oder, was hier dasselbe ist, Erde und Himmel sich im Bewußtsein gegenüberstehen als das Unthätige aber Erregungsfähige und als das Erregende und Belebende, so lag es bei den Völkern des Alterthums nahe, auf Erde und Himmel die Verhältnisse der organischen Körper überzutragen, und jene als den weiblichen, empfangen-

Digitized by Google

den, diesen als den männlichen, befruchtenden Theil anzusehen. In die Erde ward der Keim zu nützlichen Gewächsen gelegt; aus ihr schienen für unerfahrene Völker sowohl Pflanzen als Thiere unmittelbar hervorzugehen; zur Erde kehrten die Körper der Pflanzen und Thiere nach ihrem Tode wieder zurück. So erhielt die Erde bei allen Völkern weibliche Namen; sie erschien als die umfassende, Alles hervorbringende und Alles wieder in sich zurücknehmende Mutter. Als solche wurde die Erde von vielen alten Völkern göttlich verehrt; in Hesiod's Theogonie tritt die Gäa als Tochter des Chaos, des völlig ungeschiedenen Anfanges der Dinge auf, und aus ihr geht erst Uranos, der Himmel, hervor; zu Aegä in Achaia wurde sie als die Göttin mit breiter Brust, als die Alles ernährende Mutter angebetet.

Ueber der Erde steht der befruchtende, belebende Himmel; er ist in den verschiedensten Sprachen männlich; aus seiner Einwirkung auf die Erde sind ursprünglich alle Geschöpfe hervorgegangen. Aber eine wirkliche, göttliche Verehrung wurde dem Himmel nicht in so ausgedehnter Weise zu Theil, wie der Erde. Wohl wird in der chinesischen Religion der Himmel als der Inbegriff aller schöpferischen Mächte angebetet. Aber bei allen Völkern, welche nach einer festeren Gestaltung, nach Personifikation der göttlichen Mächte strebten, mußte das Himmelsgewölbe, mit seinen mannigfachen Erscheinungen, mit seinen zahllosen Gestirnen, mit Wolken, Donner und Blitzen, viel eher wie ein Sammelplatz, wie ein Aufenthaltsort von Göttern, als wie ein einzelnes göttliches Wesen erscheinen; unter allen Himmelsgöttern nahm Zeus schon bei den Pelasgern die oberste Stelle ein; der Himmel selbst wurde weder in Griechenland noch unter den alten Deutschen als Gott verehrt.

Diese Vorstellung von der weiblich empfangenden Erde und dem männlich erregenden Himmel entspricht dem einen Gegensatz, welchen wir zwischen Erdkörper und Atmosphäre aufgestellt haben. Aber einen nicht geringeren Einfluß übte

Digitized by Google

auf die religiösen Begriffe der Völker die Vorstellung aus, daß der Himmel die unbegränzte, unendliche, die Erde hingegen die begränzte, endliche Seite des Geschaffenen darstelle. Daher war der Himmel bei Griechen und Römern, wie bei den alten Deutschen die Wohnung der Götter, die Erde aber der dauernde Wohnsitz des endlichen Menschengeschlechtes. Dort, im Reiche des Lichtes, thronten die Unsterblichen; von dort stiegen sie zur Erde herab, um in die Schicksale der Menschen thätig einzugreifen, und zum Himmel kehrten sie nach vollbrachtem Werke wieder zurück. Der Mensch hingegen war ursprünglich aus Erde geformt; er lebte wohl einige Zeit am Lichte des Tages; aber mit dem Tode kehrte er wieder zu seinem Ursprunge zurück. Soweit über der Erde der Himmel sich dehnt, soweit erstreckte sich unter ihr nach griechischen Vorstellungen die Unterwelt. Hier wohnten die abgeschiedenen Seelen schattengleich in nächtlichem Dunkel; Pluto stand über ihnen als Herrscher und als Richter. Nur die ersten unter den Menschen, nur Helden, wie Herakles, wurden nach ihrem Tode von der Erde zum Aufenthalte der Götter emporgehoben.

Es bedarf keiner langen Beweise um darzuthun, daß der Gegensatz zwischen Atmosphäre und Erde, welcher das religiöse Bewußtsein der alten, polytheistischen Völker mannigfach bestimmte, auch nach dem Sturze des Heidenthums seinen Einfluß auf das menschliche Bewußtsein durchaus nicht verloren hat. Die Vorstellung, daß die Erde der Ort sei, von welchem alle Geschöpfe, also auch die Menschen ausgehen, und zu welchem alle bei ihrem Tode zurückkehren, ist allerdings durch die Lehren des Christenthums verdrängt worden; der Ursprung aus der Hand des unsterblichen Gottes und die Rückkehr zur Unsterblichkeit und Gottgemeinschaft ist die Ueberzeugung jedes wirklichen Christen. Aber um so mehr erscheint uns der Erdkörper nur als ein vorübergehender Aufenthaltsort, als die Stätte unserer endlichen Existenz. Der Blick zur Atmosphäre, zum Himmel empor erweitert unsere Vorstellungen und Ge-

Digitized by Google

fühle; wir schauen hier auf das ganze, unermeßliche Gebiet des Geschaffenen hinaus, und an das Bild der endlosen Sternenwelt schließt sich unmittelbar das Bewußtsein des unendlichen, schaffenden Gottes an. Die Erde beengt unsern Geist mit ihren beschränkten Maaßen und Gränzen; wir sehen mit Wehmuth alles Irdische zerfallen; wir legen die Leiber der Mitmenschen in den bergenden Schooß der Erde. Aber wir fühlen, daß der Geist des Menschen eine Stätte für seine unbegränzte Fortdauer findet; und wie im Gebete sich die Hände und Blicke zum Himmel erheben, so haben auch die christlichen Völker den Aufenthalt der seligen Geister als Himmel bezeichnet. Die Vorstellungen der heidnischen Völker von Himmel und Erde kehren in reinerer Weise bei den christlichen Nationen wieder.

Unser Zweck ist, in diesem Abschnitte die wirklichen Beziehungen zwischen Erdkörper, wäßriger Hülle und Atmosphäre auseinanderzusetzen; überall werden die Organismen insofern berührt werden, als sie in die verschiedenen, an der Erdoberfläche verlaufenden Processe eingreifen. Die Verhältnisse gestalten sich hier viel mannigfaltiger, als im Reich der Gestirne. Alle Naturkräfte treten gleichmäßig in Wirksamkeit. Die verschiedensten Bewegungen werden ausgeführt; nicht blos das Licht, sondern auch der Schall und die Wärme erlangen ihre volle Geltung. Außerdem finden wir in dem jetzigen Zustande der Erde bestimmte Anhaltspunkte, um über frühere Zustände derselben sichere Ansichten bilden zu können. Daher wird die Entwicklungsgeschichte, welche bei den Gestirnen nur berührt werden konnte, bei der Schilderung der Erde ausführlicher abgehandelt werden müssen.

Dieses sind hinreichende Gründe, den Abschnitt, welcher von der Erde handelt, in zwei Theile zu zerlegen. Im ersten Theile soll der gegenwärtige Zustand, im zweiten die früheren Zustände der Erde geschildert werden. Die Harmonie des Ganzen entspringt hier aus einer viel größeren Mannigfaltigkeit

der zusammenwirkenden Momente, als im Reich der Gestirne. Sie wird in jedem der zwei Theile wieder auf eigenthümliche Weise sich äußern. Die Schilderung des gegenwärtigen Zustandes muß ergeben, wie alle Theile, wie Erdkörper, Gewässer und Atmosphäre richtig zu Einem Zwecke zusammenwirken, und wie dieser Zweck kein anderer ist, als das Leben jener organischen Wesen, an deren Endspitze der Mensch sich befindet. Die Entwicklungsgeschichte der Erde hingegen wird vor Allem auf jeder Stufe das richtige Ineinandergreifen der wirksamen Glieder unseres Planeten nachweisen, dann aber in der Aufeinanderfolge der einzelnen Entwicklungsstufen selbst wieder einem bestimmten Gesetze nachforschen. Das Reich der Gestirne hat schon ein wohlgeordnetes, durch Schwere und Licht verbundenes System von Körpern vor Augen gestellt. Hier, an unserem Planeten haben wir zum ersten Male zu zeigen, daß auch im Werden der Geschöpfe jene Macht und Weisheit waltet, welche das Gewordene in fester Ordnung erhält.

I. Der jetzige Zustand der Erde.

Wie jedes Geschöpf, so muß auch die Erde nach drei hauptsächlichen Seiten geschildert werden. Die erste Seite ist ihr Bau, die dauernden Verhältnisse ihres festen Körpers, ihrer Gewässer und ihrer Atmosphäre. Diese einzelnen Theile der Erde sind aber niemals in Ruhe; ihre Bewegungen und Veränderungen haben besonders für die organischen Körper die höchste Bedeutung. Daher sollen nach dem Bau zuerst die Bewegungen, welche man an der festen Erdkruste, in Wasser und Luft beobachtet, und dann die chemischen Vorgänge an der Erdoberfläche ihre Erörterung finden.

Digitized by Google

1) Die allgemeinen Verhältnisse des Erdkörpers, seiner tropfbarflüssigen und gasförmigen Hülle.

Zu einer vollständigen Kenntniß der Zusammensetzung der Erde würden vor Allem sichere Anhaltspunkte für die Bestimmung der Masse ihres Körpers, ihrer Gewässer und ihres Luftkreises gehören. Aber wir sind von einer solchen Genauigkeit noch weit entfernt. Der Halbmesser des festen Erdkörpers ist zwar bekannt; er wird zu 860 Meilen angegeben. Aber bei der Bestimmung der Höhe der Atmosphäre werden die Angaben in hohem Grade schwankend. Weniger als 10 Meilen dürfte diese Höhe auf keinen Fall betragen; einige Thatsachen sprechen dafür, daß sie noch bedeutender, über 80 bis 100 Meilen groß ist. Nach der ersten Schätzung würde die Höhe der Atmosphäre ungefähr $^1/_{80}$, nach der zweiten sogar $^1/_8$ von dem Erdhalbmesser ausmachen. Die Masse der Gewässer endlich, welche theils in Bächen und Flüssen, theils in See'n und Meeren den festen Erdkörper bedecken, läßt sich im Ganzen durchaus nicht sicher bestimmen; man hat sie so groß angeschlagen, daß, wenn die Erdoberfläche keine Erhöhungen und Vertiefungen hätte und von einer gleichförmigen Wasserschichte bedeckt wäre, die Dicke dieser Schichte 1000 Meter, d. h. ungefähr 3000 Fuße und noch nicht einmal $^1/_{6000}$ des Erdhalbmessers betragen würde. Soviel ist jedenfalls sicher anzunehmen, daß der Erdkörper nicht bloß an Gewicht, sondern auch an räumlichem Inhalt seine beiden Hüllen bedeutend überwiegt. Die planetarische Natur der Erde, die Bestimmtheit ihrer Gestalt harmonirt aufs Beste mit diesem räumlichen Uebergewichte ihres festen Körpers.

Unter den drei Theilen der Erde steht für das menschliche Interesse der feste Körper obenan. Es sind insbesondere seine Erhebungen und Vertiefungen, welche für das Leben, für Wohnung und Thätigkeit der Menschen die größte Wichtigkeit haben. Hier gilt im Allgemeinen der Gegensatz von Berg und Thal; aber die Maaße sind sowohl bei den

Digitized by Google

Bergen als bei den Thälern sehr verschieden. Ueberdieß aber kommt bei den Thälern vorzüglich ihre Beziehung zu den Gewässern der Erde in Betracht. Wo die Erdoberfläche Vertiefungen zeigt, da sammeln sich fast immer Gewässer an, theils in kleinen Mengen, theils in größerer Masse, rinnend als Quellen, Bäche und Flüsse, stehend als See'n und Meere. Die Ausdehnung der größten, salzigen Wassermassen, welche als Meere bezeichnet werden, ist so bedeutend, daß man anzunehmen berechtigt ist, der von Meeren bedeckte Theil der Erdrinde verhalte sich zu dem unbedeckten wie 8 : 3. Nun wäre es sehr wichtig, die Tiefe der Meere und die Höhe der Gebirge zu gleicher Zeit zu kennen; es ließe sich hieraus die größte Höhe bestimmen, bis zu welcher die Gebirgsmassen über den tiefsten Punkt der Erdoberfläche emporsteigen. Aber man hat hierüber bis jetzt nur annähernde Angaben erhalten. Auf der Reise des Kapitän Roß in die antarktischen Gewässer wurde zwischen der Insel St. Helena und der brasilianischen Küste bei 25,900 Fuß noch kein Grund gefunden. Diese Tiefe, die größte, welche bis jetzt genau bestimmt wurde, weicht wenig von den 26,300 Fußen ab, um die der höchste Punkt des Himalayagebirges und der Erdoberfläche überhaupt, der Dhawalagiri, sich über die Meeresfläche erhebt. Es scheint, daß der Spiegel des Meeres zwischen den höchsten und tiefsten Stellen der Erdoberfläche ziemlich die Mitte hält; es ist daher ganz angemessen, ihn zum Anhaltspunkte bei der Messung der Meerestiefen und der Bergeshöhen zu wählen. Der höchste Punkt der Erdoberfläche läge nach jenen Angaben 50—60,000 Fuße über dem tiefsten.

Festland und Gewässer werden von organischen Geschöpfen, von Thieren und Pflanzen, bewohnt. Wie die Vertheilung der Organismen sich in den Tiefen der Meere, unter dem hohen Drucke der umgebenden Wassermassen verhält, ist bis jetzt kaum in Andeutungen bekannt geworden; es läßt sich aber annehmen, daß der Wechsel jenes Druckes auch auf die im

Digitized by Google

Wasser lebenden Thiere und Pflanzen von Einfluß sein werde. Daß hingegen die Höhe der Gebirge für das Leben der luftathmenden Organismen von großer Wichtigkeit ist, haben wir schon bei der Lehre vom Luftdrucke erwähnt. Wie der Mensch in der Höhe des Meeresspiegels ein Gewicht von 30 — 40,000 Pfunden mit der Oberfläche seines Körpers trägt, ebenso drückt die Luft auf Pflanzen und Thiere je nach dem Verhältnisse ihrer Oberfläche; auf jeden Quadratfuß Oberfläche kommt ein Gewicht von 2200 Pfunden. Dieser Luftdruck nimmt ab mit der Erhebung in die höheren Schichten der Atmosphäre, und wir haben gezeigt, welchen Beschwerden der Mensch bei dem Emporsteigen in größere Höhen ausgesetzt ist. Die Abnahme des Luftdruckes bringt gewiß auf die meisten Thiere und Pflanzen ähnliche nachtheilige Wirkungen hervor. Nur bei denjenigen Thieren, welche sich fliegend durch die Atmosphäre bewegen, welche oft, wie der Adler, rasch zu bedeutender Höhe sich erheben und ebenso schnell aus dieser wieder herabstürzen, also bei Vögeln und Insekten, scheinen die Veränderungen des Luftdruckes den Organen des Körpers weniger schädlich zu sein. Man muß hier bestimmte Vorrichtungen annehmen, durch welche jene Thiere sich dem veränderlichen Luftdrucke anpassen; und etwas Aehnliches ist bei denjenigen Fischen vorauszusetzen, welche bald an der Oberfläche bald in den Tiefen des Meeres sich aufhalten. Der Abschnitt, der von dem thierischen Organismus handelt, wird über diese Vorrichtungen weitere Aufschlüsse geben. Soviel erhellt aber schon aus dem Bisherigen, daß ein mittlerer Druck der umgebenden Medien den Pflanzen und noch mehr den Thieren am angemessensten ist; in den bedeutendsten Tiefen der Meere, wie auf den höchsten Spitzen der Gebirge ist schon durch den zu großen Druck des Wassers oder durch den zu geringen Druck der Luft die dauernde Existenz organischer Körper erschwert oder unmöglich gemacht.

Dazu kommen aber noch andere Verschiedenheiten der Medien an den höchsten und tiefsten Stellen der Erdoberfläche.

Digitized by Google

Wir haben in dem Kapitel von der Wärme die Gesetze der Wärmestrahlung erörtert. Ein Körper wird von den Wärmestrahlen um so weniger erwärmt, je diathermaner er ist, je mehr er die Strahlen unverändert durchläßt; die Erwärmung nimmt zu mit abnehmender Diathermanie der Körper. Nun werden zwar die Wärmestrahlen der Sonne in unserer Erdatmosphäre und namentlich in ihren unteren, dichteren Schichten theilweise zurückgeworfen und verschluckt; aber die weit überwiegende Zahl der Sonnenstrahlen gelangt durch die sehr diathermane Atmosphäre ungeschwächt an die Erdoberfläche. Hier verschlucken die athermanen Körper der Erdrinde fast alle Wärmestrahlen der Sonne, und es leuchtet ein, daß unter allen Theilen der Erde, welche jene Strahlen treffen, die Oberfläche der festen Erdkruste bei weitem die höchste Erwärmung erfahren muß. Je weiter man sich von der Erdoberfläche entfernt, je höher man in die Atmosphäre emporsteigt, desto geringer wird die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen, desto mehr werden diese durch die bedeutende Kälte des Weltraumes überwogen. Im Allgemeinen also nimmt die Temperatur der Luft mit der Entfernung von der Oberfläche der Erdkruste ab. Nur die untersten Luftschichten erhalten von der Wärme des Bodens noch so viel mitgetheilt, daß sie in Bezug auf ihre mittlere Temperatur mit dem Erdboden nahezu übereinstimmen.

Wenn bei bedeutender Erhebung der Gebirge nicht zusammenhängende Massen, nicht Hochländer, sondern nur einzelne Spitzen über die tieferen Gegenden emporragen, so sind diese nicht im Stande, die umgebende, dünne und kalte Atmosphäre durch ihre eigene Wärme auf einen höheren Temperaturgrad zu erheben; ihre eigene mittlere Temperatur sinkt vielmehr durch die Ausgleichung mit der kälteren Luft so herab, daß auf einer gewissen Höhe über der Meeresfläche das Thermometer im Schatten nie mehr als 0 Grad zeigt; dieß ist die Höhe, über welcher der Schnee nie völlig wegschmilzt. Diese Schneegränze erleidet durch Nebenumstände einzelne Schwankungen.

Digitized by Google

Hier sei nur der Unterschied erwähnt, welcher sich zwischen dem nördlichen und südlichen Abhang des Himalayagebirges findet; dort steigt die Schneegränze bis zu 15,600, hier nur bis zu 11,800 Fußen; die Nähe des tübetanischen Hochlandes erhöht am nördlichen Abhange des Himalaya die mittlere Temperatur und ebendamit die Linie des ewigen Schnee's.

Würde die Wärme der Atmosphäre durch nichts bestimmt, als durch die Wirkung der erwärmenden Sonnenstrahlen auf die dünneren und dichteren Schichten des Luftkreises und auf die Oberfläche der festen Erdkruste, so müßte die Wärme mit der Erhebung über den Erdboden in viel stärkerem Fortschreiten abnehmen, als dieses wirklich der Fall ist. Die unteren, stärker erwärmten Luftschichten bleiben nämlich nicht an der Erdoberfläche, sondern sie steigen vermöge ihres geringeren specifischen Gewichtes in die Höhe und theilen hiebei den oberen Luftschichten von ihrer eigenen Wärme den Ueberschuß mit. Diese Wärmemittheilung wäre noch bedeutender, wenn die aufsteigende Luft nicht in der Höhe durch Verminderung des Luftdruckes eine mechanische Ausdehnung erlitte, welche wieder eine Absorption, ein Latentwerden von Wärme zur Folge hat (S. 87). So bleibt von der Wärme der aufsteigenden Luftschichten nur noch ein Rest übrig, welcher die Temperatur der umgebenden Atmosphäre um etwas erhöht.

Wie man beim Hinabsteigen in die tieferen Schichten der Erdrinde eine Temperaturzunahme bemerkt, welche sich annähernd durch Zahlen ausdrücken läßt, so versuchte man auch für die Wärmeabnahme in den höheren Luftschichten bestimmte Verhältnißzahlen zu finden. Aber bis jetzt hat sich in dieser Beziehung kein festes Gesetz aufstellen lassen; auf 600 Fuße sollte nach einigen Angaben 1° Wärmeabnahme kommen; aber es scheint, daß die Wärmeabnahme nicht gleichmäßig, sondern in den oberen Schichten langsamer vor sich geht, als in den tieferen. Was wir durch Zahlen nicht genau auszudrücken vermögen, das prägt sich besser in dem Wechsel der irdischen

Organismen aus. Die Thiere sind von der Temperatur des Bodens und der angränzenden Luftschichten weniger abhängig; aber die Pflanzen treten, wenn man sich an Bergwänden höher erhebt, in immer neuen Gestalten hervor.

Hierauf beruhen die Regionen in der Vertheilung der pflanzlichen Organismen. Unter dem Aequator beginnt die Reihe am Meeresufer mit der Region der Palmen; dann, über 1900 Fußen, folgen als bezeichnende Pflanzen die Feigen und die baumartigen Farnkräuter; von 3800′ bis zu 7600′ treten Myrten und Lorbeeren mit immergrünem Laube als charakteristisch auf. Erst bei 7600 Fußen Höhe erscheinen unter dem Aequator die Laubhölzer, welche unsere europäischen Wälder zusammensetzen, und auf diese folgt in 9500 Fußen die sechste Region, die der Nadelhölzer. Mit den letzteren hören die baumartigen Pflanzen überhaupt auf; wo man in den Gebirgen höher hinaufsteigt, unter dem Aequator bei 11,400 Fußen, finden sich nur noch strauchartige Gewächse und als charakteristisch die Alpenrosen. Endlich bleiben, bei 13,300 Fußen, nur noch die Alpenkräuter übrig; Sträucher und Bäume kommen nicht mehr vor; und bei 15,200 Fußen wird unter dem Aequator die Schneegränze erreicht. Im Gebiete des ewigen Schnee's siedeln sich höchstens noch Gewächse der einfachsten Formen, Algen und Flechten an. Unter diese Formen gehört der rothe Schnee, welcher oft die Schneefelder der Alpen auf weite Strecken hin als dünne Schichte von rother Farbe überzieht. Es kann kein Zweifel sein, daß dieser Wechsel der Regionen vorzüglich mit der mittleren Jahrestemperatur der Höhen zusammenhängt. Am Meeresufer beträgt diese unter dem Aequator 27—30° C., in der Region der Alpenkräuter steigt sie nur noch bis zu 3—4° C., und über der Schneegränze geht die Temperatur überhaupt nicht mehr über den Nullpunkt hinaus.

Wie das Aufgehen verschiedener Blüthen für gewisse Tageszeiten bezeichnend ist, wie es gelang, hierauf eine Blumenuhr zu gründen, so wird auch die Vertheilung der pflanzlichen

Digitized by Google

Organismen für die Höhe über der Meeresfläche höchst charakteristisch. Wir haben die Stufenleiter für die Gegenden des Aequators angegeben; wie sich andere Gegenden verhalten, wird sogleich erörtert werden. Aber vorher ist es nöthig, die Temperaturen der Gewässer in verschiedenen Tiefen anzugeben; es kann sich hier natürlich nur von größeren Wassermassen handeln. Wie in dem Luftkreise diejenigen Schichten, welche am Erdboden stärker erwärmt worden sind, in die Höhe steigen, so geschieht etwas Aehnliches auch im Wasser; die kältesten Theile streben immer danach, die tiefste Stelle einzunehmen.

Bei den großen Wassermassen der Erde werden die Theile, welche mit dem Boden in Berührung sind, nicht so stark erwärmt, wie die untersten Schichten der atmosphärischen Luft; denn die Wärmestrahlen erleiden von dem wenig diathermanen Wasser eine so bedeutende Absorption, daß der kleinste Theil derselben bis zum festen Grunde der Gewässer gelangt. Daher findet man überall in tiefen Landsee'n wie in tiefen Meeren am Grunde das kälteste Wasser. Dieses rührt her theils von der kälteren Jahreszeit, theils von Gletscherwassern, welche sich in die See'n ergießen. Zwischen süßem und gesalzenem Wasser findet aber hier ein auffallender Unterschied statt. Wir erwähnten früher, daß das reine Wasser, abweichend von allen andern Körpern, nicht bis zum Nullpunkte an Dichtigkeit zunimmt, sondern schon bei 4 Graden über Null sein höchstes specifisches Gewicht erreicht. In tiefen Landsee'n der gemäßigten Zone würde daher das Wasser am Grunde immer eine Temperatur von 4° zeigen, wenn nicht die Eigenwärme des Bodens eine geringe Steigerung der Temperatur hervorbrächte; diese beträgt am Grunde des Genfersee's etwas über 6°, am Grunde des Bodensee's und Vierwaldstättersee's zwischen 4° und 5°. Ganz anders verhält sich das Salzwasser; es verdichtet sich fortwährend mit abnehmender Temperatur und erreicht sein größtes specifisches Gewicht erst bei 3° — 4° unter

Null, d. h. auf dem Punkte, wo es erstarrt. Daher sinkt die Temperatur des Wassers auf dem Boden der Meere auch tiefer als 4°; und sogar in der Nähe des Aequators, wo die Oberfläche des Meeres nie kälter wird als 25°, wurde in einer Tiefe von 3000 Fußen das Wasser kaum wärmer als 2° gefunden.

Es wäre von der höchsten Wichtigkeit, wenn es gelänge, die wechselnde Temperatur der Wasserschichten mit dem Gedeihen pflanzlicher und thierischer Organismen auf ähnliche Weise in Zusammenhang zu bringen, wie dieses für die Regionen der unbedeckten Erdoberfläche in so umfassender Weise geschehen ist. Aber die Tiefen des Meeres gestatten keinen freien Zutritt, wie die Höhen der Gebirge, und wir wissen daher noch nichts über die Vertheilung der Organismen in den verschiedenen Schichten der Wassermassen der Erde. So viel möchte aber aus dem Bisherigen klar hervorgehen, daß die erste Mannigfaltigkeit in die verschiedenen Theile der Erdoberfläche durch die Wärmeunterschiede gelangt, welche der Wechsel der Höhen und Tiefen hervorbringt. Mag man vom Meeresspiegel zu den Spitzen der Gebirge empor- oder in die Tiefen der Gewässer hinabsteigen, in beiden Fällen sinkt die Temperatur. Mit der Verschiedenheit der Temperatur ändert sich auch die Form der Organismen, welche den festen Erdboden und die Gewässer der Erde bewohnen. Vor Allem sind es die Pflanzen, welche durch ihre verschiedenartigen Formen für die Erhebung über die Meeresfläche bestimmte, gesetzmäßige Anhaltspunkte gegeben haben.

Der Verschiedenheit, welche die Temperatur der Erdoberfläche in senkrechter Richtung zeigt, geht eine andere, in horizontaler Richtung, parallel; den Regionen entsprechen die Zonen des Erdkörpers. Diese hängen von der sphäroidischen Gestalt der Erde ab. Wenn die Axe der Erde senkrecht auf der Bahn der Ekliptik stünde, so müßten auf jedem Punkte der Erdbahn und während der ganzen Dauer der Axendrehung der Erde die Sonnenstrahlen senkrecht auf die Gegenden des Aequa-

tors treffen; je weiter ein Punkt vom Aequator entfernt, je näher er den Polen liegt, unter einem desto kleineren Winkel müßte er von den Strahlen der Sonne getroffen werden. Diese einfachen Voraussetzungen ändern sich nun zwar in Folge der Schiefe der Ekliptik; aber trotzdem ist es doch im Allgemeinen richtig, daß der Winkel, unter welchem die Sonnenstrahlen zur Erdoberfläche gelangen, von dem Aequator bis zu den Polen fortwährend kleiner wird. Nun weiß Jedermann, daß die Sonne weniger erwärmt, wenn sie Abends tief am Horizonte steht, als wenn sie Mittags sich fast senkrecht über unserem Haupte befindet. Die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen nimmt ab, je kleiner der Winkel wird, unter welchem sie die Erdoberfläche treffen. So kommt es, daß die wärmenden Strahlen der Sonne um so schwächer wirken, je näher ein Punkt der Erdoberfläche den Polen liegt; die mittlere Jahrestemperatur nimmt vom Aequator gegen die Pole hin fortwährend ab.

Wir haben hiemit blos die eine, aber die überwiegende Ursache der Verschiedenheit der Zonen hervorgehoben; die übrigen Momente, welche die mittlere Temperatur gewisser Gegenden erhöhen oder vermindern, werden später ihre Stelle finden. Es folgt hier eine Uebersicht der acht Zonen nach ihrer räumlichen Ausdehnung und nach ihrer mittleren Temperatur.

Namen der Zonen.	Ausdehnung.	Mittlere Wärme.
Aequatorial-Zone	0—15° Breite.	26—30° C.
Tropische Zone	15—23° Br.	23—26° C.
Subtropische Zone . . .	23—34° Br.	18—21° C.
Wärmere gemäßigte Zone	34—45° Br.	12—16° C.
Kältere gemäßigte Zone	45—58° Br.	6—12° C.
Subarktische Zone . . .	58—66° Br.	4—6° C.
Arktische Zone.	66—72° Br.	0 bis—2° C.
Polar-Zone	72—82° Br.	— 2° C. und darunter.

Die Mitteltemperaturen, welche hier zu Grunde gelegt wurden, sind alle für den Meeresspiegel berechnet. Hier, in einer und derselben Ebene wiederholt sich jene Aufeinanderfolge von abnehmenden Mitteltemperaturen, welche vorher in aufsteigender Richtung beobachtet worden war. Auch an diese Unterschiede der Temperatur schließen sich die Organismen und vorzüglich die Pflanzen an. Vom Aequator zu den Polen, wie von dem Meeresspiegel bis zu den Höhen der Gebirge, folgen sich als charakteristische Pflanzen zuerst Palmen, dann baumartige Farnkräuter, immergrüne Laubhölzer, Orange und Weinstock, ferner die Laubhölzer unserer Gegenden mit den Nadelhölzern, endlich mit zunehmender Armuth der Vegetation nur strauchartige, krautartige Gewächse und niedere Pflanzenformen, insbesondere Moose und Flechten. So steigen die Pflanzen und mit ihnen die einzelnen Regionen allmählig alle aus den Gebirgen in die Ebene herab. Auch die Schneegränze senkt sich, je näher man den Polen kommt, immer tiefer herab; in der gemäßigten Zone liegt sie auf einer Höhe von 8—9000 Fußen. Ob sie in den höchsten nördlichen und südlichen Breiten bis zum Meeresspiegel herabsteigt, läßt sich noch nicht sicher bestimmen. Denn obgleich dort die mittlere Jahrestemperatur mehrere Grade unter Null sinkt, so kommen doch immer in der wärmeren Jahreszeit noch Tage vor, wo das Thermometer über Null steht, und wo daher der Schnee wenigstens an einzelnen Stellen wegschmilzt. Vielleicht berührt die Schneegränze den Meeresspiegel erst an den beiden Polen. Daraus folgt, daß in der Nähe der Meeresküste der Erdboden nirgends von allem organischen Leben völlig entblößt wird. Wo der Schnee nur kurze Zeit weggeht, da siedeln sich sogleich niedere Pflanzenformen an, und diesen folgen bald auch einzelne Thiere, welchen sie zur Nahrung dienen.

Geht man vom Aequator zu den beiden Polen weiter, oder steigt man unter dem Aequator von der Meeresspitze zu den Höhen der Gebirge empor, in beiden Fällen findet sich

Digitized by Google

eine analoge Abstufung der mittleren Jahreswärme und der organischen, insbesondere der pflanzlichen Formen. Die physikalischen Verhältnisse und die Bekleidung des Erdbodens ändern sich also mannigfaltig nach der Höhe der Gebirge und nach der Höhe der nördlichen und südlichen Breite. Aber die Stufen, welche auf diese Weise in zweierlei Richtungen entstehen, sind nicht unveränderlich; ein und derselbe Punkt der Erdoberfläche zeigt nicht immer die gleiche Temperatur; pflanzliche und thierische Organismen unterliegen in derselben Gegend wechselnden Wärmeverhältnissen. In die Einförmigkeit der Wärmestufen kommt Veränderung vor Allem durch die Jahreszeiten, und diese haben ihren Grund in der Schiefe der Ekliptik. Die Neigung der Erdaxe gegen die Ebene ihrer Bahn hat zur Folge, daß die Sonnenstrahlen denselben Punkt der Erdoberfläche zu verschiedenen Zeiten unter verschiedenen Winkeln treffen und daher auch in verschiedenem Grade erwärmen. Wenn die Erdaxe senkrecht auf der Ebene ihrer Bahn stände, so könnte in Bezug auf die Mitteltemperatur eines Ortes, während des ganzen Jahres, kein erheblicher Wechsel stattfinden; warme, gemäßigte und kalte Gegenden würden immer dasselbe physikalische Verhalten und dieselbe Pflanzendecke zeigen; ein Ort, an welchem einmal Schnee gefallen oder Eis gebildet wäre, könnte kaum je den Pflanzen als Boden oder den Thieren als Aufenthaltsort dienen. Diese Möglichkeit des Wechsels wird durch die Schiefe der Erdaxe gegeben.

Die Stellung der Erdaxe verändert sich durchaus nicht **während ihres ganzen Umlaufes um die Sonne; sie bleibt immer**

$23\frac{1}{2}$ Grade gegen die Ebene der Bahn geneigt, und ihr Nordpol ist ununterbrochen gegen dieselbe Gegend des Himmelsraumes hingekehrt. Am 21. Juni ist die Stellung der Erde so, wie es die Kugel mit der Axe N S ausdrückt. Die nördliche Halbkugel W N O ist der Sonne (S o) mehr zugewendet, als die südliche. Die Ebene der Erdbahn, welche durch die Linie a b bezeichnet ist, schneidet den nördlichen Wendekreis in b; diesen Wendekreis treffen also die senkrechten Strahlen der Sonne; der Aequator W O wird unter einem mäßig schiefen Winkel getroffen. An den beiden Enden der Erdaxe verhält sich die Beleuchtungsgränze sehr verschieden. Ueber den Nordpol N geht sie noch bis E hinaus; hier liegt der nördliche Polarkreis; er ist $23\frac{1}{2}$ Grade vom Nordpol, wie die Wendekreise $23\frac{1}{2}$ Grade vom Aequator entfernt. Umgekehrt erreicht die Beleuchtungsgränze nicht einmal den Südpol; sie liegt, $23\frac{1}{2}$ Grade von diesem entfernt, bei e, im südlichen Polarkreis. Im Monate Juni erhalten also die Gegenden des nördlichen Wendekreises die stärkste Beleuchtung und Erwärmung durch die Sonnenstrahlen. Unter dem kleinsten Winkel treffen diese Strahlen die Erdoberfläche an beiden Polarkreisen, aber $23\frac{1}{2}°$ jenseits des Nordpoles und $23\frac{1}{2}°$ diesseits des Südpoles. Der Winkel nimmt nach beiden Seiten des nördlichen Wendekreises ab, und zwar einerseits gegen den abgewendeten Theil des nördlichen Polarkreises, andererseits gegen den zugewendeten Theil des südlichen Polarkreises hin.

Ganz entgegengesetzt sind die Verhältnisse im Monat December; am 21. hat die Erdaxe die Stellung der Linie N′S′. Jetzt überwiegt die südliche Halbkugel auf dieselbe Weise, wie es die nördliche im Juni gethan hatte. Die Sonnenstrahlen treffen den südlichen Wendekreis senkrecht in a′. Die Erleuchtungsgränze geht über den Südpol bis e′ hinaus und bleibt diesseits des Nordpoles, bei E′. Die Gegenden des südlichen Wendekreises sind in dieser Zeit am stärksten erleuchtet und erwärmt. Zwischen den Extremen des Juni und December liegen

Digitized by Google

zwei mittlere Zustände, im März und September. Wenn in der obigen Figur die beiden Extreme sich links und rechts von der Sonne (S o) befinden, so kommt die Erde im September und März vor und hinter die Sonne zu stehen. In diesen beiden Monaten steht die Sonne senkrecht über dem Aequator; die beiden Wendekreise werden von ihren Strahlen unter dem gleichen Winkel getroffen; die Beleuchtungsgränze geht gerade durch beide Pole; der Aequator erhält von der Sonne am meisten Licht und Wärme. Durch diese vier Stellungen geht die Erde während ihres Umlaufes um die Sonne hindurch; sie bewegt sich immer aus dem einen Extrem in die eine Mittelstellung und aus dieser in das andere Extrem; aus dem letzteren kehrt sie durch die zweite Mittelstellung zum ersten Extreme zurück.

Hiemit ist der Wechsel der Jahreszeiten unmittelbar gegeben. Sommer und Winter fallen mit dem Eintritte der Erde in ihre extremen Stellungen zusammen; aber sie erscheinen zu entgegengesetzten Zeiten auf der nördlichen und südlichen Halbkugel, der Sommer auf der nördlichen im Juni, auf der südlichen im December, der Winter dort im December, hier im Juni. Frühling und Herbst fallen in die Mitte zwischen die Extreme, jener nördlich in den März, südlich in den September, dieser nördlich in den September, südlich in den März. Der hauptsächliche Charakter der Jahreszeiten beruht auf der Höhe der Temperatur; diese wird theils durch die Stellung, theils durch das längere oder kürzere Verweilen der Sonne über einem Orte bedingt. Es leuchtet jetzt ein, wie durch die schiefe Stellung der Erdaxe alle Gegenden der Erdoberfläche einem Wechsel der Temperatur unterworfen werden; wir haben zu zeigen, welche große Bedeutung der Wechsel der Jahreszeiten für das Leben der Pflanzen und der Thiere behauptet.

Die mittlere Jahrestemperatur der im Norden Amerika's gelegenen Insel Melville (74° 47′ n. Br.) beträgt 18 Grade unter dem Gefrierpunkte; alle Möglichkeit eines organischen Lebens scheint hier ausgeschlossen. Aber, wie schon berührt

Digitized by Google

worden ist, im Sommer steigt die Temperatur bedeutend über jenes Jahresmittel; die Mittelwärme des Sommers beträgt fast 3 Grade über Null. Der Sommer dauert vier bis sechs Wochen, und die Wärme, welche während dieses Zeitraumes sich bis zu 5° erhebt, reicht zur Ausbildung von Alpenkräutern hin, wie sie auf hohen Gebirgen in der nächsten Nähe der Schneegränze noch gedeihen. Dieses Beispiel genügt, um die Wichtigkeit der Stellung der Erdaxe für das organische Leben deutlich darzuthun. Der Wechsel der Jahreszeiten öffnet insbesondere den Vegetabilien solche Gegenden, welche bei senkrechter Erdaxe allen Organismen unzugänglich bleiben würden.

Aber jener Wechsel bedingt das Gedeihen gewisser Pflanzen auch in solchen Gegenden, wo die Wärmeverhältnisse dem vegetabilischen Leben im Allgemeinen durchaus nicht hinderlich sind. Und zwar wirken die Jahreszeiten hier in zweierlei Weise. Einmal leiden Gewächse, denen die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes angemessen zu sein scheint, durch bedeutende Kälte des Winters Noth. Dann gedeihen Pflanzen, deren Früchte zu ihrer Reifung eine bedeutende, anhaltende Wärme bedürfen, auch an solchen Orten, wo zwar die mittlere Jahrestemperatur nicht hoch, aber der Sommer warm und anhaltend ist. Die Kontraste der Temperatur, welche bald das Gedeihen gewisser Pflanzen verhindern, bald die Reifung von Früchten möglich machen, finden sich, wie bald gezeigt werden soll, vorzüglich in der Mitte der Festländer; kalte Winter wechseln hier mit heißen Sommern. In der Nähe des Meers wird bei gleicher Mitteltemperatur des Jahres der Sommer weniger warm, der Winter weniger kalt. Daher erfrieren z. B. Myrten in Deutschland, wo Obst und Wein gut gedeiht; sie wachsen dagegen frei in Irland, wo nur noch Aepfel die volle Reife erreichen. So haben die Faröerinseln dieselbe mittlere Jahrestemperatur, wie Danzig; aber weil die Getreidearten zur Reifung eine gewisse mittlere Sommerwärme verlangen, und weil diese in Danzig über 16°, auf den Faröern aber nur etwas über 11° beträgt,

Digitized by Google

so findet sich dort ergiebiger Bau von Getreide, namentlich auch von Weizen, während hier nur noch dürftig Gerste gedeiht. Der Weinstock bedarf zur Reifung seiner Früchte vorzüglich einen warmen Sommer; daher baut man ihn in Heidelberg bei einer Jahreswärme von 9°—10° und einer Sommerwärme von 18°, in Würzburg bei einer Jahreswärme von 10° und einer Sommerwärme von 18°—19°, aber nicht in Dublin und Cherbourg, wiewohl die Jahreswärme dort 9°—10°, hier sogar 11° beträgt, weil nämlich die Sommerwärme dort nur auf 15°, hier nur auf 16°—17° steigt.

Man hat die Orte, welche dieselbe mittlere Jahrestemperatur haben, durch Linien verbunden, und diese Isothermen genannt; ebenso hat man die Orte mit gleicher Sommerwärme durch die Isotheren, die Orte mit gleicher Winterkälte durch die Isochimenen vereinigt. Für die Vertheilung der Organismen und namentlich der Pflanzen an der Erdoberfläche sind alle diese Linien von großer Bedeutung. Die Beispiele, welche wir angeführt haben, werden hinreichend darthun, daß weder die Jahreswärme, noch die Temperatur des Sommers oder des Winters für sich genügen, um die Wärmeverhältnisse eines Ortes oder Landes auszudrücken. Erst alle drei Momente vereinigen sich zu einem vollständigen Bilde und umfassen alle jene Beziehungen, durch welche Pflanzen und Thiere an die Temperatur ihres Stand- oder Wohnortes geknüpft sind. Man mag von der Mannigfaltigkeit der organischen Formen oder von der Verschiedenartigkeit der Temperaturen an der Erdoberfläche ausgehen, auf beiden Wegen kann die Wahrheit des Satzes nicht verkannt werden, daß der organischen Mannigfaltigkeit die Temperaturverschiedenheiten überall entsprechen. Die Betrachtung der Organismen selbst wird über dieses Wechselverhältniß noch weitere Aufklärung bringen; aber hier war der erste Punkt, wo auf die Harmonie der Organismen mit der umgebenden Schöpfung aufmerksam gemacht werden mußte.

Wenn nun die Anordnung der Erdoberfläche zu den Organismen, welche auf ihr leben sollen, überall paßt, so entsteht die Frage, wie es sich denn mit jenen Thieren verhalte, welche die Gewässer der gemäßigten und kalten Zone zu ihrem Aufenthaltsorte haben. Die Gewässer dieser Gegenden gefrieren im Winter und es scheint auf den ersten Blick nichts den Untergang der Fische, die sich in jenen Gewässern aufhalten, verhindern zu können. In dieser Beziehung unterscheiden sich wieder die süßen Wasser von den gesalzenen. Schon in dem Kapitel, welches von den Wirkungen der Wärme handelte (S. 89), ist die Eigenthümlichkeit des Wassers berührt worden, nicht erst im Momente des Erstarrens, sondern schon 4° darüber sein größtes specifisches Gewicht zu erhalten, und von hier bis 0° sich wieder auszudehnen, wieder specifisch leichter zu werden. Wenn nun in der kalten Jahreszeit die niedere Temperatur der Luft sich auch der Oberfläche des Wassers mittheilt, so sinken die erkaltenden Wassertheilchen so lange zu Boden, bis die Temperatur der Wasseroberfläche 4° erreicht hat. In diesem Augenblicke hat stehendes Wasser durch seine ganze Masse hindurch die gleiche Temperatur. Schreitet nun die Erkaltung von der Atmosphäre her weiter, ist das Wasser nur noch 3°, 2°, 1° warm, so schwimmen diese kälteren Wassertheilchen auf der schwereren, 4° warmen, unteren Wassermasse; und ebenso sinkt auch das Eis nicht unter; denn es ist leichter als Wasser von 4°. Ueberall daher, wo unsere Flüsse und See'n gefrieren, erstarren sie nicht als Eine Masse; sondern sie erhalten eine oberflächliche Eiskruste, und unter dieser behält das Wasser eine Temperatur von 4°; so viel Wärme reicht hin, um die Thiere des Wassers lebend zu erhalten. Ueberdieß bewahrt die einmal gebildete Eisschichte als ein schlechter Wärmeleiter die darunter befindliche Wassermasse vor dem raschen Eindringen der Kälte der Atmosphäre, und die Eisbildung schreitet daher nur langsam von der Oberfläche in die Tiefe weiter.

In den Meeren der Erdoberfläche gestalten sich die Ver-

Digitized by Google

hältnisse anders. Ihr gesalzenes Wasser erstarrt erst bei 3°—4° unter Null; es wird bis zu diesem Punkte schwerer und sinkt bis dahin unter; aber im Augenblicke des Erstarrens scheidet es seinen Salzgehalt aus und wird jetzt eben so beschaffen und namentlich eben so leicht als das Eis unserer Flüsse. Während das erkaltende Wasser zu Boden sinkt, fließt wärmeres von den Seiten zu; die Kälte muß sehr lange und in sehr hohem Grade einwirken, bis sie endlich die tiefsten Wasserschichten zum Erstarren bringt. Daher gefriert das Meerwasser selbst in den höchsten Breiten nur in der Nähe der Küsten; auf hoher See, wo das Meer eine bedeutende Tiefe hat, bleibt dieses wenigstens theilweise offen; der Meeresgrund selbst wurde nie gefroren gefunden. In den Meeren verlangsamt also der Salzgehalt des Wassers die Erstarrung sehr bedeutend; und wenn einmal Eis gebildet ist, so schwimmt dieses an der Oberfläche und verhindert wieder als eine schützende Kruste das tiefere Eindringen der Kälte. Hier ist für das Leben der Wasserthiere eben so gut, nur auf andere Weise vorgesehen, als in den süßen Gewässern. Aber wenn man bedenkt, daß in den hohen, nördlichen und südlichen Breiten Wasserthiere sich aufhalten, welche unmittelbar die atmosphärische Luft athmen, und von denen die Walfische die kolossalsten Repräsentanten sind, so wird klar werden, wie gerade das Offenbleiben der Meeresoberfläche jenen Thieren einen ununterbrochenen Verkehr mit dem Sauerstoff der Atmosphäre erlaubt. In den süßen Gewässern, deren Oberfläche sich im Winter mit einer zusammenhängenden Eisschichte bedeckt, leben nur solche Thiere, welche den vom Wasser absorbirten Sauerstoff zu ihrer Athmung verwenden.

Alles was bisher von den Wärmeverhältnissen der Erdoberfläche gesagt worden ist, bezog sich auf diejenigen Unterschiede, welche die Erhebung eines Punktes über die Meeresfläche oder seine Entfernung vom Aequator, welche endlich der Umlauf der Erde um die Sonne und die schiefe Stellung der

Digitized by Google

Erdare in der erwärmenden Wirkung der Sonnenstrahlen hervorbringen. Aber bei den Gegensätzen der Sommer- und Wintertemperatur ist schon der Einfluß erwähnt worden, welchen die Anwesenheit oder das Nichtvorhandensein größerer Wassermassen auf die Vertheilung der Wärme ausübt. Diese verändern nicht geradezu die mittlere Temperatur eines Ortes; aber sie machen die Sommer kühler, die Winter wärmer; sie bewirken eine Näherung der Extreme in der Temperatur eines Ortes. In Jakuzk in Sibirien, unter 60° n. Br. steigt das Thermometer an einzelnen, sehr warmen Sommertagen bis zu 31° C. Höher steigt die Temperatur niemals auf der hohen See, selbst nicht in den heißesten Gegenden der tropischen Zone. Dagegen bleibt in Jakuzk das Quecksilber der Thermometer im Winter oft Monate lang gefroren und hämmerbar; die Temperatur sinkt dort im Winter bis zu 58° unter Null. Auf hoher See übersteigen die Unterschiede der Temperatur an einem und demselben Punkte nie 4°; in Jakuzk sind Differenzen von 88° beobachtet worden. Auf diesem Gegensatze beruht das Binnenklima gegenüber dem Küsten- und Inselklima. Der Vorzug der Binnenländer sind die warmen Sommer, der Vorzug der Küsten die milden Winter; jene leiden durch kältere Winter, diese durch kühlere Sommer.

Die Gründe des Gegensatzes zwischen Binnen- und Inselklima sind nicht schwer zu erforschen. Das Wasser ist diathermaner, also weniger erwärmbar, als der Erdboden; es bedarf viermal so viel Wärmezufuhr als dieser, um auf denselben Temperaturgrad gebracht zu werden. Die gleichen Sonnenstrahlen erwärmen also Wasser viel weniger, als festes Land, und daraus folgt zunächst, daß jenes auch den untersten Luftschichten weniger Wärme mittheilt, als das letztere. Ferner verdunstet immer Flüssigkeit an der Oberfläche der Gewässer; und je größer die Wassermassen sind, um so deutlicher wird bei ihrer Verdampfung der umgebenden Luft Wärme entzogen (S. 87). Daher wirken alle Gewässer, und insbesondere die ausgedehnteren, auf die

nächsten Luftschichten erkältend ein. Endlich veranlaßt die Verdampfung der Wassermassen die Bildung von Nebeln und Wolken, und diese verhindern die Sonnenstrahlen an einer kräftigen Einwirkung auf den Wasserspiegel. Umgekehrt erkalten die Gewässer und die nächsten Luftschichten im Winter langsamer, als der Erdboden. Beide verlieren ihre Wärme vorzüglich durch Strahlung (S. 101). Wenn nun die oberste Schichte einer Wassermasse durch Strahlung sich abkühlt, so wechselt sie sogleich ihren Platz; sie sinkt wegen der Steigerung ihres specifischen Gewichtes unter, und an ihre Stelle treten wärmere, aufsteigende Wassertheilchen. Daher können Wassermassen sich an ihrer Oberfläche nicht so rasch abkühlen, wie der Erdboden. Ueberdieß erkaltet das Wasser überhaupt durch Strahlung nicht so schnell als die Erde, und endlich lassen namentlich auch die Nebel und Wolken, welche sich häufig über dem Wasserspiegel lagern, die Wärmestrahlen nicht ungehindert in die freie Atmosphäre entweichen. So kommt es, daß die Luft an der Oberfläche und in der Nähe ausgedehnter Gewässer sich im Sommer nicht bedeutend erwärmt und im Winter nicht bedeutend abkühlt.

Da die Gewässer in den nächsten Luftschichten hauptsächlich nur die Extreme des Sommers und Winters mäßigen, so ist ihr Einfluß auf das Leben derjenigen Organismen, welche auf dem Festlande leben, nicht von umfassender und überwiegender Bedeutung. Doch haben wir schon oben nachgewiesen, wie ihre Anwesenheit auf die Verbreitung und das Gedeihen einzelner Gewächse einwirkt, wie von ihr die Kultur des Weinstocks und der Getreidearten bestimmt wird. Und auch die Thiere des Festlandes werden durch heiße Sommer uhd kalte Winter anders berührt, als durch kühle Sommer und milde Winter; ja selbst vom Menschen läßt sich nicht läugnen, daß der Gegensatz des Küsten- und Binnenklima's auf seine Lebensweise und auf die Stimmung seines Gemüthes einwirke. Noch viel mehr aber tritt dieser Gegensatz hervor, wenn man die Organismen

Digitized by Google

des Wassers selbst mit den Organismen des festen Landes vergleicht. Allerdings hängt die wesentliche Verschiedenheit zwischen Wasser- und Landpflanzen, Wasser- und Landthieren nicht blos mit dem Unterschiede in den Temperaturverhältnissen zusammen. Die verschiedene Weise der Ernährung, der Athmung und der Ortsbewegung prägen gleichfalls den Organismen, welche im Wasser leben, andere Charaktere auf, als den Pflanzen und Thieren, deren Medium die Luft ist. Aber gewiß hat auch der Mangel extremer Temperaturen eine bestimmte Beziehung zu den Eigenthümlichkeiten in dem Bau und den Thätigkeiten der Wasserthiere und Wasserpflanzen.

So stehen sich Wasser und Land schroff gegenüber, dieses als der Schauplatz der höchsten Wärme und der tiefsten Kälte, jenes als der Ort, wo die Extreme der Temperatur sich am meisten verwischen. Aber auch in mancherlei andern Beziehungen treten beide in einen gewissen Gegensatz. Wenn wir Wasser und Land als den Boden des thierischen und pflanzlichen Lebens betrachten, wenn wir sie in dieser Beziehung der Atmosphäre gegenüberstellen, so muß das Land als der feste, unbewegliche Grund, das Wasser als die wechselnde, bewegliche Decke erscheinen. Wie am thierischen Körper die weichen Theile den festen Knochen aufgelagert sind, auf ähnliche Weise schmiegen sich die Gewässer den engen und weiten Vertiefungen des Festlandes überall an. Die Vereinigung der Weichtheile mit dem Skelet begründet die Gestalt des Thieres in ihren festen Grundzügen und in ihrer Beweglichkeit. Ebenso wird die Gestalt der Erdoberfläche erst richtig erkannt, wenn man die Vertheilung des Festlandes und der Gewässer, die Erhebungen und Vertiefungen der Erdoberfläche in Einem Bilde zusammenfaßt. Die jetzige Gestalt, die jetzigen Züge der Erde sind nicht aus Einer oder aus wenigen Ursachen zu erklären; sie sind vielmehr das endliche Resultat aller jener Entwicklungsstufen, welche die Erde im Laufe der früheren Jahrtausende durchlaufen hat; die verschiedensten Ursachen haben zu verschiedenen Zeiten zur Bestim-

Digitized by Google

mung dieser Gestalt mitgewirkt. Wie das Antlitz des Menschen sich erst im Laufe der Jahre in feste Züge legt, welche die vorangegangenen äußeren Eindrücke und inneren Stimmungen vermuthen lassen, so treten in der Physionomie der Erdoberfläche bedeutungsvolle Zeichen früherer Zustände hervor. Es wird der Gegenstand späterer Kapitel sein, die Deutung dieser Zeichen zu versuchen; für jetzt möchten wir nur ein kurzes, übersichtliches Bild der Erdoberfläche geben.

Wenn man jenen Theil der unbedeckten Erdoberfläche betrachtet, welcher zu einem großen Theile schon den Völkern des Alterthums bekannt war, und Europa, Asien und Afrika umfaßt, so muß sogleich auffallen, daß sich hier zwei Mittelpunkte der Gestaltung finden, die Hochländer von Asien und Afrika. Alles Festland ordnet sich auf der östlichen Halbkugel um diese zwei ausgedehnten Erhebungen der Erdoberfläche an.

Aus dem hindostanischen Tieflande, welches vom Indus und Ganges durchströmt wird, erhebt sich plötzlich gegen Norden die hohe Kette des Himalaya. Ihr Zug geht nicht rein von Ost nach West, sondern zugleich etwas von Süd nach Nord. Die höchsten Spitzen der Erdoberfläche, vor allen der Dhawalagiri, steigen über ihrem Kamme empor. Jenseits, im Norden des Himalayagebirges beginnt das Hochland von Asien. Dieses gränzt sich nach Westen deutlich ab, gegen das Tafelland von Iran durch den Hindu Kuh, gegen das turkestanische Tiefland durch den Bolor Tagh. Weniger scharf sind seine Gränzen nach Norden, Osten und Südosten. Nach Norden stuft es sich allmälig durch vorliegende Alpenländer, insbesondere durch das Altaigebirge gegen das Tiefland von Sibirien ab. Nach Nordosten aber, nach Osten und Südosten sendet es an seinem Rande mannigfach verzweigte Gebirgszüge aus, welche am Ostkap, in Kamtschatka, in der Mandschurei, in China und Hinterindien die Ufer des großen Oceans erreichen. In der Mitte und durch die ganze Breite des asiatischen Hochlandes, 400 Meilen weit, zieht sich die Wüste Gobi, theils

Steppenländer, theils wirkliche Sandflächen enthaltend. Hier ist nur der Fuß der Gebirge kulturfähig; die Steppen dienen höchstens zu Weiden der Nomaden. Zahlreiche See'n, in welche Steppenflüsse sich ausmünden, unterbrechen die Einförmigkeit des Hochlandes; der bedeutendste dieser See'n ist der Lopnoor. In seiner westlichen Hälfte wird das Hochland von zwei langen Gebirgszügen, welche wesentlich von West nach Ost sich erstrecken, abgetheilt, im Süden von der Kette des Küen-Lün, im Norden vom Thian-Schan. Großen Flüssen gibt das Hochland Mittelasiens den Ursprung, im Nordosten dem Amur, südöstlich dem Yantse-Kiang, südlich dem Dzangbo, der sich als Irawady oder als Brahmaputra ins Meer ausmündet, endlich südwestlich dem Indus, der aus dem tübetanischen Hochlande zum persischen Meere herabströmt.

Nicht unähnlich verhält sich das Hochland von Afrika. Im Süden der großen Sahara, südlich von dem Tschadsee und von dem oberen Laufe des Nils steigt es zu einer bedeutenden Höhe empor; die Mondgebirge bezeichnen hier, nördlich vom Aequator, die Gränze des Hochlandes. Wir wissen im Allgemeinen wenig von jenem Theile Afrika's, der im Süden des Aequators liegt; aber so viel ist doch wahrscheinlich, daß er bis zur Gränze der Capkolonie von einem Hochlande nahezu ausgefüllt wird. In der Nähe der Meeresküsten ziehen zwei Bergsysteme von Süden, von dem Caplande nach Norden, das eine bis zur Mündung des Niger, das andere bis zu den abessynischen Alpen, und beide fassen zwischen sich jenes Hochland Südafrika's. Im Innern dieses Landstriches scheinen hohe Bergzüge vorzukommen, von welchen einige Gipfel, unter 3°—4° südlicher Breite, die Schneegränze überragen. Große und kleine See'n geben theils Flüssen den Ursprung, theils nehmen sie selbst Flüsse auf; dahin gehört vor Allem der ausgedehnte Maravisee, welcher im Westen von Mozambique liegen soll; dann wird im Mondlande, in der Nähe der oben bemerkten, mit ewigem Schnee bedeckten Gipfel, ein bedeutender See, mit Namen

Digitized by Google

Usambiro angeführt. Wir wissen nicht, wie das Innere Hochafrika's in Bezug auf seine Fruchtbarkeit und auf seine Pflanzenwelt beschaffen ist; aber durch seine bedeutende Ausdehnung, durch seine hohen Bergzüge und durch seine zahlreichen und ausgedehnten See'n wird es Hochasien ähnlich. Es schließt sich im Nordwesten an Hochsudan, im Nordosten aber an das Alpenland von Habesch und an die Gebirge an, welche weiterhin die beiden Ufer des Niles begleiten. Im Süden stuft es sich zu den Gebirgen des Caplandes ab. Wie aus Hochasien, so entspringen aus Hochafrika große Flüsse, im Osten der Zambeze, im Westen der Orangefluß und der Congo, vorzüglich aber im Norden der Nil, welcher von allen Gewässern Hochafrika's sich allein dem Mittelmeere zuwendet.

An Hochasien, wie an Hochafrika schließen sich weitere Ländergruppen an; aber ihre Form ist so verschieden, daß viel weniger die Gestalt der Hochländer selbst, als die Bildung dieser hinzukommenden Landstriche den Unterschied begründet, welcher überall zwischen Asien und Europa auf der einen, Afrika auf der andern Seite anerkannt wird. Vom Ostkap bis zur Mündung des Indus, an der östlichen und südlichen Seite Asiens zeigen die Küsten in reichlichem Maaße tiefe Einschnitte und starke Hervorragungen; Kamtschatka, Korea, Malacca und Vorderindien mögen hiefür als die einleuchtendsten Beispiele genügen. Ueberdieß wird auf jener Seite die ganze Küste Asiens in geringer Entfernung von einer Reihe von Inseln umgeben, welche mit den Kurilen beginnt und mit Ceylon endigt. Anders verhält sich Afrika. Die westliche und östliche Küste, soweit diese vom Cap bis zur Sahara sich erstreckt, entbehrt Einschnitte und Vorsprünge fast ganz; die Bucht von Guinea macht von dieser Regel die einzige bemerkenswerthe Ausnahme. Was die Inseln betrifft, so ist Madagaskar in der Nähe des afrikanischen Festlandes die einzige von beträchtlicher Ausdehnung. In dieser Aufzählung sind blos diejenigen Küsten Asiens und Afrika's berücksichtigt, welche von den Hoch-

Digitized by Google

ländern selbst nicht zu weit entfernt, insbesondere nicht durch größere Tiefländer von ihnen getrennt sind. Aber sowohl Hochasien als Hochafrika gränzen an Tiefländer von bedeutender Ausdehnung, jenes im Nordwesten, dieses im Norden. Die Betrachtung dieser Tiefländer wird zu ferneren, wichtigen Charakteren der Festländer der östlichen Hemisphäre führen.

Ein großes Tiefland nimmt die ganze Nordküste Sibiriens vom Ostcap bis zum Uralgebirge ein. Nach Osten verschmälert es sich bedeutend; aber je mehr man gegen Westen fortschreitet, desto größer wird seine Ausbreitung von Nord nach Süd. Seine Südgränze ist der Abfall des asiatischen Hochlandes; erst im Westen, wo es am weitesten von Nord nach Süd sich ausdehnt, reicht es bis zum iranischen Hochlande herab, und gränzt im Osten an den Rand Hochasiens. Der Ural, durch zwanzig Breitegrade von Nord nach Süden streichend, schließt das sibirische Tiefland im Westen ab. Ein neues Tiefland beginnt aber sogleich an dem westlichen Abhange des Uralgebirges; wir können es nach seiner größten Abtheilung als das sarmatische bezeichnen. Es nimmt, von wenigen niedern Höhezügen unterbrochen, das europäische Rußland ein; im Nordwesten erstreckt es sich bis zum weißen Meere, im Westen durch Norddeutschland, Niederlande und Nordfrankreich bis zum atlantischen Ocean; bis hieher dehnt es sich, schmäler werdend, längs den Küsten der Ostsee und Nordsee aus; am Rande der Ostsee erhebt es sich noch einmal zu niederen Landrücken. So erstreckt sich eigentlich Ein mächtiges Tiefland von der Ostspitze Asiens bis zur Westküste Frankreichs. An beiden Enden verschmälert es sich; in der Mitte ist es am breitesten. Große Ströme durchschneiden das Tiefland, in Sibirien der Lena, der Jenisei und der Ob, in Europa die Wolga, der Dnjepr, die Weichsel und die Oder. In der Mitte, wo das Tiefland am breitesten ist, liegen an seinem südlichen Rande der Aralsee und das große kaspische Binnenmeer. Das lange Uralgebirge durchschneidet das europäisch-asiatische Tiefland in der Richtung von

Digitized by Google

Nord nach Süd. Parallel mit dem Ural läuft das skandinavische Gebirge, welches für das flache Nordeuropa den hohen Saum gegen Westen bildet.

Das Tiefland, dessen Schilderung soeben versucht worden ist, liegt im Westen und Norden Hochasiens. Das Hochland von Afrika und die Gebirge Hochsudans, welche sich ihm nordwestlich anschließen, gränzen im Norden an ein Tiefland, welches Nordafrika fast seiner ganzen Breite nach durchzieht. Im Süden, wo es von Flach-Sudan eingenommen wird, ist es fruchtbar; aber seine weit überwiegende, nördliche Hälfte wird von der Wüste Sahara gebildet. Theils nackter Felsboden, theils Kies- und Sandebenen machen hier die Vegetation fast überall unmöglich; nur an einzelnen Punkten, in den Oasen findet sich Wasser und mit ihm Pflanzenwachsthum. Erhebungen des Bodens kommen hier kaum in Betracht. So dehnt sich die Sahara vom Westrande Aegyptens bis zur Küste des atlantischen Oceanes aus; fast ohne Wasser und organisches Leben, jedenfalls ohne größere Flüsse, bildet sie einen Landstrich von trauriger Einförmigkeit. Hinter dem europäisch-asiatischen Tieflande bleibt das afrikanische an Ausdehnung, an Mannigfaltigkeit, an Fruchtbarkeit und Wasserreichthum weit zurück; nur der südlichste Theil, welcher fruchtbare Strecken und den großen Tschadsee mit mehren bedeutenden Zuflüssen enthält, macht eine Ausnahme von jenem allgemeinen Bilde.

Und jetzt, nachdem die Hochlande und die angränzenden Tiefländer des afrikanischen und des asiatisch-europäischen Continentes geschildert worden sind, bleiben von der alten Welt nur noch Landstriche übrig, welche die Verbindung der beiden Continente vermitteln. Wir bezeichnen diesen Strich am Besten durch die Gewässer, an welche er gränzt. Von den Säulen des Herkules an wird das Mittelmeer im Süden, Norden und Osten von Ländern dieses Striches umfaßt; weiter nach Osten gehören zu ihm die Länder, welche im Norden des persischen Meeres und zu beiden Seiten des rothen Meeres gelegen sind.

Digitized by Google

Die Gebirge, welche alle diese Länder durchziehen, stehen theils mit dem asiatischen, theils mit dem afrikanischen Hochlande in einigem Zusammenhang.

Wo der Hindu Kuh die westliche Gränze Hochasiens bezeichnet, schließt sich unmittelbar das iranische Hochland an; von seinem Westrande gehen Gebirgssysteme aus, welche Kurdistan, Armenien und Kleinasien mit der Hauptrichtung von Ost nach West durchziehen; ebenso läuft weiter nördlich der Kaukasus und das kleine Küstengebirge der Krüm. In Europa werden diese Bergsysteme durch die mächtigen Gebirge fortgesetzt, welche die unregelmäßigen nördlichen Ufer des Mittelmeeres beherrschen. Am mächtigsten und in der Mitte ragen hier die Alpen empor, wesentlich von Ost nach West, von der ungarischen Ebene bis zum unteren Flußgebiet der Rhone ausgedehnt. Aehnlich verhalten sich im Osten die Karpathen, die siebenbürgischen Alpen und der Balkan, im Westen die Pyrenäen und einige kleinere Bergzüge der pyrenäischen Halbinsel. Aber in anderen Gebirgen, im Süden und Norden der Alpen treten andere, mannigfaltigere Richtungen hervor; so in den Apenninen und in den meisten Bergzügen der osmanischen Halbinsel, welche die vorherrschende Ausdehnung Italiens und Griechenlands von NNW. nach SSO. in ihrer Richtung wiederholen; so in den Gebirgen Frankreichs und Deutschlands, welche vom Fuße der Alpen aus in verschiedenartiger Richtung und vielfacher Durchkreuzung sich bis zu den Tiefländern der nördlichen und westlichen Meeresküsten hinziehen. Der Länderstrich, welcher sich vom westlichen Rande Hochasiens bis zur Meerenge von Gibraltar erstreckt, wird im Norden größtentheils von dem europäisch-asiatischen Tieflande begränzt, zuerst vom Tieflande von Turan, weiterhin vom kaspischen Meere, dann bis zur Westküste Frankreichs von dem sarmatischen, germanischen, niederrheinischen, und französischen Tieflande. Im Süden gränzt er an's persische Meer, an den persischen Meerbusen, an Mesopotamien und an's Mittelmeer. Soweit er die Küsten des letzt-

Digitized by Google

genannten Meeres bildet, ist er von tiefen Buchten eingeschnitten, und zahlreiche Inseln liegen in der Nähe seines Randes, insbesondere Cypern, der griechische Archipel, Creta, Sicilien, Sardinien und Corsika.

Wie mit dem asiatischen Hochlande ein gebirgiger Landstrich zusammenhängt, welcher das persische und mittelländische Meer im Norden einfaßt, so schließt sich ein ähnlicher Strich an das Hochland des afrikanischen Continentes an. Von dem obersten Thale des Nils bis zu seinem Delta ziehen sich an beiden Seiten des Stromes Erhebungen herab, anfangs höhere Alpenländer, dann niedere Wüstenplatten bildend. Von der westlichen oder libyschen Platte gehen nach Westen die Gebirgszüge aus, welche den Nordrand des afrikanischen Festlandes ausmachen. Anfangs sind diese nur vereinzelte Plateaus, von Ausläufern der Wüste unterbrochen; aber mit der großen Syrte beginnen zusammenhängende Bergzüge, welche vorherrschend von Ost nach West sich ausdehnen, vor Allem der Atlas, der mit seinem westlichen Ende das atlantische Meer erreicht und in seiner westlichen Hälfte als hoher Atlas sich über 11,000 Fuße erhebt. Diese nordafrikanischen Bergzüge beherrschen einen Landstrich, der im Süden sich an die Sahara anlehnt, im Norden die Küsten des Mittelmeeres bilden hilft. Die südliche Küste des Mittelmeeres bleibt hinter der nördlichen weit an Größe der Buchten und Vorsprünge zurück; bemerkenswerthe Inseln kommen in ihrer Nähe gar keine vor. Trotz dieser Unterschiede gleichen sich doch diese beiden, soeben geschilderten Landstriche in vielen wesentlichen Beziehungen. Beide ziehen sich als schmale Streifen von Ost nach West zwischen Tiefländern und Meeren hin; vor Allem bilden beide den Saum des mittelländischen Meeres, und sind reich an Berührungen zwischen der See und dem festen Lande.

Die Verbindung beider Landstriche wird an dem Ostrande des mittelländischen Meeres durch die Gebirge Syriens und Palästina's hergestellt; diese dehnen sich von Norden nach Süden zwischen den Bergzügen Kleinasiens und des rechten unteren

Nilufers aus. Zu ihnen kommt noch die arabische Halbinsel mit ihrem Hochlande als ein Mittelglied zwischen dem europäisch-asiatischen und dem afrikanischen Landstriche; das rothe Meer, das persische Meer und der persische Meerbusen trennen diese Halbinsel von den anliegenden Festländern.

Auf diese Weise gliedern sich die Länder der alten Welt in einzelne große Gruppen. Vor allem steht die europäisch-asiatische Hälfte der afrikanischen gegenüber; dann erscheinen aber auf beiden Seiten Hochländer, Tiefländer und endlich Küstenstriche, welche von eigenen Gebirgsketten durchzogen werden. Nach Nordosten liegt die europäisch-asiatische Hälfte des Hoch- und Tieflandes, nach Südwesten die afrikanische; die Küstenstriche, welche zwischen beiden Continenten eingeschoben sind, ziehen sich von den Säulen des Herkules bis zum persischen Meere, von WNW. nach OSO. Die europäisch-asiatische Hälfte überwiegt die afrikanische in jeder Beziehung. Vorzüglich zeichnen sich ihre drei Glieder aus durch die bedeutendere räumliche Ausdehnung, durch die Großartigkeit der Gebirgsbildung, durch die Mannigfaltigkeit der tief eingeschnittenen und von zahlreichen Inseln umgebenen Küsten. Gegenüber von der Ländermasse, welche Europa und Asien begreift, stellt sich Afrika als ein verschlossener, wenig gegliederter Welttheil dar. Die Vertheilung und Ausbildung der Organismen, namentlich die Anordnung des Thierreiches, vor Allem aber die Wohnsitze der einzelnen Formen des Menschengeschlechtes schließen sich in auffallender Weise dieser Gliederung der alten Welt an. Die Naturgeschichte der Menschenrassen wird hierüber die hauptsächlichen Aufschlüsse bringen.

Vergeblich sehen wir uns in den anderen Welttheilen nach einer ähnlichen Gliederung um. Amerika, welches gleich der großen Ländermasse der östlichen Hemisphäre sich nördlich über den Polarkreis und südlich über den Wendekreis hinaus erstreckt, entbehrt jene großen Hochländer, die für Asien und Afrika den Mittelpunkt der Gestaltung bilden. Von der Südspitze des

Digitized by Google

Feuerlandes bis in die Nähe der Küste des nördlichen Eismeeres, vom südlichen bis zum nördlichen Ende Amerika's zieht sich jenes Kettengebirge hin, welches man gewöhnlich als die Anden oder Cordilleren bezeichnet. Es hat seine geringste Höhe, nur 600 Fuße, auf dem Isthmus von Panama, also in der Mitte seiner Länge; südlich von diesem Punkte wird es sogar auf eine kurze Strecke durch eine sumpfige Ebene ganz unterbrochen. In seiner nördlichen Hälfte erhebt es sich an zwei Punkten über 16,000 Fuße, nämlich in Mexiko mit dem Popokatepetl und im höchsten Norden mit dem Eliasberge. Noch viel höher steigt es in Südamerika, und zwar auf dem Hochlande von Quito mit dem Chimborazo etwas über 20,000 Fuß, auf dem Hochlande von Peru mit dem Pik von Sorata bis zu 23,600 Fuß Höhe.

Die Anden bilden in einem großen Theile ihrer Ausdehnung eine einfache Gebirgskette, und zwar überall da, wo der amerikanische Continent von West nach Ost eine geringe Breite darbietet; so in der südlichen Hälfte Südamerika's; so insbesondere auf dem schmalen Streifen von Land, der Nord- und Südamerika verbindet. Aber sobald der Continent breiter wird, treten mächtige Längenthäler auf, und die Anden zerfallen in mehrere parallele Ketten. So fließt der oberste Theil des Amazonenstroms vom Knoten von Huanuco durch ein Längenthal herab; so spalten sich die Anden im nördlichsten Theile Südamerika's in drei Ketten, zwischen denen der Cauca und der Magdalenenfluß gegen Norden fließen. Die östlichste dieser Ketten wendet sich nordöstlich und zuletzt östlich; sie bildet das Südufer des karaibischen Meeres und endigt gegenüber von Trinidad an der Stelle, wo sich der Halbkreis der Antillen mit seinem südlichen Ende dem Festlande nähert. Die westlichste Kette setzt sich auf den Isthmus von Panama fort. In Nordamerika gehen die Anden mit dem Breiterwerden des Continentes wieder in mehrere Ketten auseinander. Die mittlere Kette zieht als Felsgebirge bis zum nördlichen Eismeere; aber

Digitized by Google

sie erleidet selbst wieder mehrere Gabeltheilungen. Nach Nordosten gehen von ihr zwei kürzere Gebirgszüge aus, noch in Mexiko das Ozarkgebirge, welches bis zur Einmündung des Missouri in den Missisippi reicht, dann im Missourigebiet die schwarzen Hügel. Endlich läuft, parallel mit dem Felsgebirge, die Kette der Westcordilleren oder Seealpen längs der Westküste nach Norden und Westen; ihr Ende liegt da, wo die Aleuten sich an das amerikanische Festland anschließen.

In der Schilderung der Cordilleren ist bisher nirgends von einem Hochlande die Rede gewesen. Und solche ausgedehnte Erhebungen, wie sie in den Continenten von Afrika und Asien beobachtet werden, kommen allerdings hier durchaus nicht vor. Nur an einzelnen Punkten schwillt die Cordillerenkette stärker in die Breite an, und hier bildet sie untergeordnete, von höheren Ketten und Gipfeln umgränzte Hochländer oder Plateaus. Ein solches Hochland findet sich in den Cordilleren von Peru, überragt vom Pik von Sorata und vom Illimani; ein beschränkteres bei Quito, am Fuße des Chimborazo, Antisana und Pichincha; das ausgebreitetste Plateau endlich ist das californische, zwischen den westlichen Cordilleren und der Kette des Felsgebirges. Wie auf den ausgedehnten Hochländern Afrika's und Asiens, so finden sich auch auf diesen kleineren Gegenbildern derselben nicht selten See'n, in welche Flüsse sich ausmünden; so auf dem Hochlande von Peru der Titicacasee, auf dem californischen der große Salzsee. Aber trotz dieser Analogieen erlangen doch die Hochländer der Cordilleren durchaus keine überwiegende Geltung; die Anordnung der Gebirge in lineärer Richtung, die Bildung von Gebirgsketten herrscht hier bei Weitem vor.

Während ihres ganzen Verlaufes halten sich die Cordilleren immer an den westlichen Rand des amerikanischen Continentes; sie folgen hier mit ihrer Hauptkette oder mit Nebenketten immer dem Meeresufer. Nach Osten von ihnen liegt die Hauptmasse des übrigen Festlandes. Vor Allem schließen

Digitized by Google

sich in Nord- und Südamerika ausgedehnte Tiefländer an die Cordillerenkette an. Das Tiefland Nordamerika's erstreckt sich vom nördlichen Eismeere durch die Stromgebiete des Polarmeeres, der Hudsonbai, der See'n und des mächtigen Missisippi herab bis zum Golfe von Mexiko. Ebenso dehnt sich das südamerikanische Tiefland von Nord nach Süd durch die ganze Länge des Continentes aus; es beginnt mit dem untern Stromgebiete des Orinoco, tritt mit dem Casiquiare in das ausgedehnte Gebiet des Amazonenstromes über, und endigt südlich mit dem Gebiete des La Plata. Endlich im Osten der Tiefländer und durch sie von den Cordilleren völlig getrennt, erheben sich Gebirge von geringerer Höhe. In Nordamerika dehnen sich die Alleghanies in mehreren parallelen Zügen von der Mündung des Missisippi bis zu der des Lorenzoflusses aus. In Südamerika ist zwischen Orinoco und Amazonenstrom das kleine Hochland von Guyana, zwischen Amazonenstrom und La Plata das ausgedehnte brasilianische Bergland eingeschoben. Diesen isolirten Bergländern verdankt Nord- und Südamerika vorzüglich die östliche Hervorragung.

Die Continentalmasse der westlichen Hemisphäre, nämlich Nord- und Südamerika, können gut mit den Continenten der östlichen Hemisphäre, Asien, Europa und Afrika verglichen werden. Auf beiden Seiten zerfallen die Continentalmassen in eine nördliche und in eine südliche Hälfte, welche durch eine schmale Landenge, dort durch den Isthmus von Panama, hier durch die Landenge von Suez mit einander verbunden werden. Auf beiden Hemisphären läßt sich das Festland in Hochgebirg, in Tiefland und in ein gesondertes Gebiet mit niederern Bergzügen eintheilen. Aber die Hochgebirge stellen in Süd- und Nordamerika nur Gebirgsketten dar; in Asien und Afrika hingegen treten die höchsten Gipfel am Rande der ausgedehnten Hochländer auf. Der europäisch-asiatische und der afrikanische Continent schließen sich an mächtige Hochländer, als an ihre Mittelpunkte an; aber Nord- und Südamerika lehnen sich nur an

die lange Kette der Cordilleren. Dadurch entbehrt Amerika jene Mittelpunkte, welche die Gestalt der östlichen Continente zu einer mehr concentrirten und gesammelten machen; seine Bildung und Anordnung ist eine vorherrschend lineäre.

Hiemit sind die größeren Continente der Erdoberfläche geschildert. Die Inseln, welche in den verschiedenen Meeren zerstreut sind, schließen sich zum Theil den großen Continenten an. Aber andere Inseln erscheinen als Bildungen für sich, theils vermöge ihrer Größe, theils vermöge ihrer Entfernung vom Festlande, theils vermöge anderer Eigenthümlichkeiten ihrer Lage. Dahin rechnen wir die beiden Polarländer, das nördliche, dessen Südspitze, Grönland, bis in die Nähe Nordamerika's herabreicht, und das südliche, welches sich gleichfalls dem amerikanischen Continente noch am meisten nähert. Indeß ist die Ausdehnung und Gestalt dieser Polarländer noch allzuwenig bekannt; und da wir die Erdoberfläche immer mit besonderer Beziehung zu den Organismen in's Auge fassen, so erscheint es nicht nöthig, die Polarländer, welche fast alles organischen Lebens entbehren, hier weiter zu berücksichtigen. Ein anderes Inselreich fesselt hingegen in hohem Grade die Aufmerksamkeit, nämlich die Inselgruppen Polynesiens, welche durch den weiten Raum zwischen der Ostküste Afrika's und der Westküste Amerika's zerstreut liegen.

In das große Meeresbecken, welches den indischen und den stillen Ocean umfaßt, ragen vom asiatischen Continente zwei südliche Vorsprünge, Vorder- und Hinterindien hinein. Die Halbinsel Malacca, welche die äußerste Spitze Hinterindiens bildet, enthält noch die letzten Ausläufer jener Gebirgszüge, die vom südöstlichen Rande des asiatischen Hochlandes nach Süden streichen. Aber Vorderindien wird durch die Thäler des Ganges und Indus von allen übrigen Gebirgen Asiens völlig abgeschnitten, und tritt als ein eigenthümliches Gebirgsland nach Süden hervor. Noch selbständiger erscheinen die großen, am Rande der Festländer liegenden Inseln, Madagas-

Digitized by Google

kar und Ceylon. Aber dort, wo die Reihe der Inseln, welche Asiens Ostrand begleiten, südlich mit Borneo und Sumatra endigt, fängt erst die polynesische Inselwelt an, sich unabhängiger zu entwickeln. Von den Philippinen aus ragt Mindanao nach Südosten vor; Sumatra, Java und die kleinen Sundainseln dehnen sich von der Halbinsel Malacca nach Osten aus; zwischen inne liegen Borneo, Celebes und die Molucken; und wo diese drei Richtungen sich begegnen, schließt sich im Osten Neuguinea, im Süden der australische Continent an.

Inselgleich gerundet, mit wenigen Einschnitten und Vorsprüngen, liegt Neuholland als ein kleiner Continent im Süden von Asien. Seine Gebirge sind noch zu wenig bekannt, um eine genügende Vergleichung mit andern zu gestatten. Von den Inseln, welche ihm zunächst liegen und sich ihm anschließen, tritt Vandiemensland als die größte hervor. In weiterer Entfernung wird Neuholland westlich und südlich von keinen Inseln umgeben; aber im Norden und Westen legt sich um dasselbe ein Halbkreis von kleinern und größern Inseln her; dieser beginnt mit der Westspitze Neuguinea's und zieht sich durch Neubritanien, Neuirland, die Salomonsinseln und Neuhebriden, endlich durch Neukaledonien und Neuseeland herab bis zum südwestlichen Ende des letzteren Inselpaares. Nordöstlich von diesem Gürtel folgen endlich jene zahlreichen Inseln, welche nach Norden und Osten in einzelnen, unregelmäßig zerstreuten Gruppen den Spiegel des großen Oceans unterbrechen; die nordöstlichste Gruppe ist die der Sandwichinseln. Auf mehreren dieser Inseln steigen einzelne Gipfel zu einer bedeutenden Höhe über den Meeresspiegel empor; so auf den Sandwichinseln bis zu 13,000, auf den Gesellschaftsinseln bis nahe an 12,000 Fuße.

Wenn Asien, Europa und Afrika durch die Gruppirung ihrer vielfach gegliederten Ländermasse um zwei große Hochländer, wenn Nord- und Südamerika durch die lineäre Anordnung seiner Hochgebirge, also durch den Mangel großer Mittelpunkte der Gestaltung sich auszeichnen, so muß die Eigenthüm-

Digitized by Google

lichkeit Polynesiens in den vielen, fast zusammenhanglos zerstreuten, kleinen Festländern gesucht werden. Australien bietet zwar eine ziemliche Masse von Festland dar; aber sein Charakter ist dennoch inselartig. Der regelmäßige Inselgürtel, welcher Australien nördlich und südlich umgibt, geht an seinem äußeren Rande bald in die regellose Menge der kleinen polynesischen Inseln über. So zerfällt demnach Polynesien in viele Mittelpunkte, von welchen jeder nur wenig Land ohne weitere Gliederung in seinem Umkreise zusammenhält. Amerika ist reicher gegliedert; aber es fehlen ihm große, überwiegende Mittelpunkte. Nur die östliche Continentalmasse, welche Asien, Europa und Afrika in sich schließt, verbindet die reichste Gliederung des Festlandes mit seiner Gruppirung um mächtige Hochländer. Die vollkommenere Gestaltung des Festlandes gewährt der alten Welt ein deutliches geographisches Uebergewicht über die später entdeckten Theile der Erdoberfläche; wir dürfen hier schon hinzufügen, daß in dieser alten Welt die Schicksale des Menschengeschlechtes bis jetzt fast ausschließlich entschieden worden sind. Die Geschichte der Menschenrassen wird die auffallende Analogie zwischen der geographischen und historischen Dignität der Festländer ganz besonders hervorheben müssen.

Und jetzt bleibt nur noch wenig von der Oberflächengestalt der Erde zu sagen übrig. Wir erwähnen nur die oftbemerkte Eigenthümlichkeit der Continente, sich nach Süden zuzuspitzen und nach Norden auszubreiten. Die Südspitzen von Afrika und Südamerika, von Vorder- und Hinterindien, von Grönland und Kamtschatka treten dadurch in den auffallendsten Gegensatz gegen die Ausbreitung des asiatischen und amerikanischen Continentes an den Küsten des Nordpolarmeeres. Die wichtigste Folge hievon ist, daß die Continente nach Süden sich weit von einander entfernen, nach Norden aber sich sehr nahe rücken. Asien wird von Amerika nur durch die enge Behringsstraße getrennt; der Zwischenraum, welcher sich zwischen Amerika und Europa befindet, wird durch Island und

Digitized by Google

die Südspitze Grönlands theilweise ausgefüllt. Der Verkehr zwischen den Bewohnern der Continente, die Wanderungen von einem Continente zum andern geschahen daher sicher in den frühesten Zeiten fast ausschließlich im nördlichen Theile unserer Erdoberfläche, wo man ohne weite Schifffarth von einem Festlande zum andern gelangen konnte.

Wir schließen hiemit die Schilderung der festen Gestalt der Erdoberfläche. Schon an sich selbst läßt sich in der Vertheilung und Gestaltung des Festlandes ein bestimmter, durchgreifender Sinn erkennen. Aber dieser Sinn tritt noch viel deutlicher hervor, wenn man die Thiere und Pflanzen vergleicht, welche die verschiedenen Gegenden des Festlandes innehaben. Es scheint sehr natürlich, daß in der heißen Zone andere Thiere und Pflanzen leben, als in der gemäßigten oder kalten Zone. Aber außerdem weichen unter gleichen oder sehr ähnlichen klimatischen Verhältnissen die Organismen des einen Continentes wesentlich von denen der übrigen Continente ab. Die Affen der alten Welt haben jederseits fünf Backzähne, wie der Mensch, und sind nicht selten ungeschwänzt; die Affen Amerika's zeichnen sich alle durch sechs Backzähne und lange Schwänze aus. Das Kameel der alten Welt wird in der neuen durch das Lama ersetzt. Unserem Löwen entspricht in Amerika der Cuguar, unserem Tieger der Jaguar. Neuholland unterscheidet sich von allen übrigen Continenten durch die Entwicklung der Beutelthiere und durch das größte Geschlecht dieser Familie, das Känguruh. Aehnlich verhält es sich mit den Pflanzen. An der Stelle jener Fichtenformen, welche in den Wäldern Europa's und Asiens auftreten, erscheinen in Nordamerika neue Arten derselben Gattung. Die Haidepflanzen, welche der alten Welt eigenthümlich sind, werden in Amerika durch andere Pflanzen derselben Familie, in Neuholland aber durch Pflanzen einer andern, verwandten Familie ersetzt. Die Chinarindenbäume sind einem schmalen Striche der südamerikanischen Cordilleren

eigenthümlich; das Vaterland des Theestrauches beschränkt sich auf den südöstlichen Winkel von Asien.

Aus dem Gebiete der Gesetzmäßigkeit treten wir wieder in das Reich der scheinbaren Willkür hinaus. Die Abnahme der Wärme mit der Entfernung vom Aequator und vom Spiegel des Meeres, der Einfluß von Wasser und Festland auf die Temperaturverhältnisse, die entsprechende Vertheilung der verschiedenen, thierischen und pflanzlichen Organismen, alles dieß läßt sich auf bestimmte Gesetze zurückführen. Auch von der Gestalt der Festländer, von der Anordnung der Gewässer vermag die Geognosie schon jetzt einigermaßen anzugeben, wie es zu dem gegenwärtigen Zustande allmälig gekommen ist. Aber jeder Continent unterscheidet sich von den übrigen nicht blos durch seine Ausdehnung, durch die Erhebung seiner Oberfläche, durch die Einschnitte und Vorsprünge seines Randes, durch ein Mehr oder Weniger von Feuchtigkeit und Wärme; sondern seine ganze Gestalt trägt eine Eigenthümlichkeit an sich, die, ähnlich den Zügen der menschlichen Physionomie, durch Zergliederung eher entschwindet als schärfer erkannt wird. Und diese Eigenthümlichkeit prägt sich vor Allem in den Organismen aus, welche der Continent beherbergt. Die Organismen passen nicht blos zu den klimatischen Verhältnissen ihres Wohn- oder Standortes, sondern sie schließen sich auch durch eigenthümliche Formen der unerklärten Eigenthümlichkeit ihres Bodens an. Ein Continent kann zwar für sich kein Individuum genannt werden; aber von jenem Rechte der eigenthümlichen Existenz, durch welches die Erde als ein Sternindividuum besteht, ist doch so viel auf die Continente übergegangen, daß jeder seine bestimmt ausgeprägte Eigenthümlichkeit zum Gesammtbild der Erdoberfläche als ein nothwendiges Glied beiträgt. Diese Eigenthümlichkeit ist bei den Continenten so wenig zu erklären, als bei der Erde im Ganzen.

Man hat früher häufig angenommen, die Gestalt der Festländer der Erde sei ganz nur Folge der Einwirkung der Ge-

Digitized by Google

wässer; die Bewegungen der Meere sollten die Form der Küsten, die Bewegungen der Flüsse die Thäler des Festlandes hervorgerufen haben. Aber wir werden bei der Entstehungsgeschichte unserer Erde zeigen, daß die feste Erdrinde von innen heraus ihre Gestalt bekommen, daß sie von den gesalzenen und süßen Gewässern nur unbedeutende nachträgliche Abänderungen ihrer Umrisse erfahren hat. Daher muß die Vertheilung der Festländer vor der Anordnung der Meere geschildert werden. Wo zwischen ausgedehnten Erhebungen der Erdoberfläche sich größere Vertiefungen befinden, da sammeln sich die großen Wassermassen der Erde. Ihre Vertheilung ist mit der Schilderung der Continente schon im Wesentlichen gegeben. Zwischen dem Westrande der alten Welt und dem Ostrande Amerika's dehnt sich von Nord nach Süd der atlantische Ocean aus; er zieht, entsprechend den Vorsprüngen der Continente, zuerst nach Südwest, dann zwischen den Wendekreisen nach Südost, endlich in seinem südlichen Drittel wieder nach Südwest; sein nördliches Ende ist am schmälsten, sein südliches am breitesten. Viel mächtiger ist das Meer, welches von der Ostküste Afrika's sich bis zur Westküste Amerika's erstreckt und alle Inseln Polynesiens in sich begreift. Es verschmälert sich immer mehr nach Westen; nach Osten erweitert es sich, bis es endlich an der Behringstraße seine größte Ausdehnung von Nord nach Süd erreicht. Neuholland theilt diese Wassermasse in zwei Hälften, in das viel kleinere indische Meer und in den großen Ocean. Im Norden und im Süden fließen die beiden großen Meeresbecken der Erde zum nördlichen und südlichen Eismeere zusammen; diese bezeichnen die Gränzen zwischen den bewohnbaren Continenten und den größtentheils unwirthlichen Polarländern.

Wie das Wasser überhaupt die Form jedes Gefässes annimmt, so rührt die Eigenthümlichkeit in der Form der Meere ganz nur von den einschließenden Küsten her. Gegenüber den eigenthümlich gestalteten, individualisirten Festländern stellen die Wassermassen der Erde die bildsame Substanz dar, welche ein

Digitized by Google

eigenes Princip der Gestaltung entbehrt, und sich dem Festen, Geformten überall anschmiegt. Daher ist die Eigenthümlichkeit der Meere viel weniger ausgeprägt, als die Eigenthümlichkeit der Festländer; und diesem entspricht, daß die Organismen des Meeres an weniger enge Verbreitungsbezirke gebunden sind, als die Thiere und Pflanzen des festen Landes. Wohl unterscheiden sich die Walfische der nördlichen Meere specifisch von denen der südlichen; wohl sind die verschiedenen Arten der Delphine verschiedenen Meeresgegenden eigenthümlich. Aber unter den niederen Seethieren scheinen einzelne in allen Meeren vorzukommen; so wurde der Riesenhai ebensowohl im atlantischen Meer, als im indischen Meer und im großen Ocean gefunden. Noch mehr treten viele niedere Wasserpflanzen oder Algen, unabhängig von geographischer Länge oder Breite, mit denselben Formen in den verschiedensten Meeren auf; der riesenhafte, oft 300 Fuß lange Fucus, welcher in der Nähe des Cap Horn reichlich vorkommt, gedeiht in der neuen Welt gleich gut durch alle Zonen.

Meer und Land, Bewegliches und Festes geben miteinander erst das volle Bild, die ganze Physionomie unserer Erdoberfläche. Und so wäre denn das dauernde physikalische Verhalten und die dauernde Form der Erdoberfläche in einem gedrängten Ueberblicke geschildert. Die Bewegungen und Veränderungen, welche an der Erdoberfläche vor sich gehen, sind den künftigen Kapiteln überlassen. Aber von Einer merkwürdigen Erscheinung muß hier noch gesprochen werden, nämlich vom Erdmagnetismus.

Wir haben schon früher (S. 109) den Erdkörper als einen Magnet von den größten Dimensionen bezeichnet, und die Richtung der Magnetnadel aus der Anziehung des magnetischen Erdkörpers abgeleitet. Aber die Verhältnisse und Bedingungen des Erdmagnetismus sind keineswegs so einfach, als sie sich dem oberflächlichen Blicke darstellen. Vor Allem muß hier festgehalten werden, daß die Enden der Magnetnadel nicht nach

Digitized by Google

den geographischen Polen, nach den Enden der Umdrehungsare der Erde hin gerichtet sind. Die Magnetnadel befindet sich nicht in der Richtung des gewöhnlichen Meridianes eines Ortes; sondern sie weicht von diesem mit ihrem Nordpole an einigen Orten nach Osten, an andern nach Westen ab. Im westlichen Europa beträgt die westliche Abweichung ungefähr 20 Grade. Diese Abweichung oder Deklination der Magnetnadel ist an den verschiedenen Orten der Erdoberfläche nicht regellos; sondern wie der Erdkörper zwei scharf bestimmte Endpunkte seiner Umdrehungsare hat, so weist auch die Richtung der Magnetnadel in den verschiedensten Gegenden der Erde auf zwei Punkte, auf die magnetischen Erdpole hin. Der eine dieser Punkte wird an der Nordküste Amerika's, etwa unter 70° nördlicher Breite, der andere im Süden von Australien, etwa unter 76° südlicher Breite auf dem südlichen Polarlande angenommen. Eine gerade Linie, welche diese Pole verbindet, geht nicht, wie die Erdare, durch den Erdmittelpunkt; vielmehr liegen die magnetischen Pole auf Einer Hemisphäre beisammen. Die kürzeste Linie, durch welche sie verbunden werden können, läuft von SSW. nach NNO. durch den großen Ocean, fast ohne Festland zu berühren; nur ihr nördlichstes Ende fällt noch in den amerikanischen Continent.

Die Lage der magnetischen Erdpole wird also aus der Richtung einer horizontal schwingenden Magnetnadel bestimmt. Die Deklination des Nordpoles der Nadel nach Ost oder West hängt mit jener Lage aufs Innigste zusammen. Nun entsteht aber zunächst die Frage: liegen die magnetischen Erdpole im festen Erdkörper oder im Wasser oder in der atmosphärischen Luft? Diese Frage läßt sich am besten mit Hilfe einer Magnetnadel beantworten, welche in einer senkrechten Ebene schwingt, deren Nordpol und Südpol also in senkrechter Richtung sich der Erdoberfläche nähern oder sich von ihr entfernen können. Je mehr man sich mit einer solchen Nadel dem magnetischen Nordpole der Erde nähert, desto mehr senkt sich der Nordpol

Digitized by Google

der Magnetnadel gegen die Erdoberfläche hin, und man nimmt an, daß am magnetischen Erdnordpole selbst die Nadel eine völlig senkrechte Richtung, ihr Nordpol nach unten gekehrt, annehmen werde. Umgekehrt wird die Nadel am magnetischen Südpol der Erde ihren eigenen Südpol senkrecht nach der Erdoberfläche hin richten. Daraus folgt, daß vom Erdkörper selbst die magnetische Kraft ausgeht, welche die Richtung der Magnetnadel bestimmt. Wie die Abweichung der Magnetnadel vom Meridiane nach Ost oder West als Deklination bezeichnet wird, so hat man die Senkung des Nord- oder Südpoles als Neigung oder Inklination beschrieben.

Im Allgemeinen neigt sich auf der nördlichen Hemisphäre der Nordpol, auf der südlichen der Südpol der Magnetnadel; in Paris beträgt die Neigung etwa 67°. Hienach müßte der Aequator der Erde die Linie sein, über welcher die Magnetnadel gar keine Neigung nach Nord oder Süd zeigen würde. Aber so wenig die magnetischen Pole der Erde mit den Enden der Umdrehungsaxe zusammenfallen, so wenig ist der Aequator der Erde auch die Linie ohne Neigung. Der magnetische Aequator, über welchem die Magnetnadel völlig horizontal liegt, ist kein reiner Kreis, sondern eine Linie, welche in ihrem ganzen Verlaufe sich der Kreisform nur annähert. Er durchschneidet den geographischen Aequator zweimal, im atlantischen Ocean, nahe der afrikanischen Küste, fast unter dem Meridiane von Paris, und dann, 188½° davon entfernt, in der Südsee, nordöstlich vom australischen Continente. Der magnetische Aequator entfernt sich vom geographischen nach beiden Seiten hin um mehr als 10 Grade. Die größte nördliche Abweichung entspricht dem asiatisch-europäischen Continente, die größte südliche dem Festland von Südamerika; die Punkte, wo beide Aequator sich durchschneiden, fallen in die großen Meere der Erdoberfläche; zwischen der Lage des magnetischen Aequators und der Vertheilung von Meeren und Festländern scheint daher ein gewisses Verhältniß zu bestehen.

Digitized by Google

Wenn die Erscheinungen des Erdmagnetismus sich auf die Verschiedenheiten in der Deklination und Inklination der Magnetnadel beschränken würden, so wäre es nicht schwer, für ihre Erklärung eine genügende Theorie aufzustellen. Wie ein gewöhnlicher Magnet, so hätte auch der Erdkörper seine beiden Pole, welche auf die Pole der Magnetnadel bald abstoßend, bald anziehend einwirken; der magnetische Aequator würde jenen Stellen entsprechen, welche in der Mitte der magnetischen Pole der Nadel liegt, und wegen ihrer Wirkungslosigkeit als Indifferenzpunkt bezeichnet wird. Dann müßte aber an den magnetischen Erdpolen, oder wenigstens in ihrer Nähe die magnetische Kraft der Erde ihren höchsten Grad erreichen; es müßte von den Polen bis zum magnetischen Aequator jene Kraft fortschreitend an Intensität abnehmen; denn so verhält sich die Vertheilung der magnetischen Kraft an und zwischen den Polen einer Magnetnadel (S. 108). Aber dieses Gesetz gilt nicht unbedingt; allerdings nimmt im Allgemeinen die Intensität der Kraft vom Aequator gegen die Pole hin zu; aber im Einzelnen finden sich zahlreiche Ausnahmen. Der magnetische Aequator ist im Ganzen nicht genau die Linie der geringsten Intensität, und seine einzelnen Punkte sind einander überdieß an Intensität nicht alle gleich. Die höchste Intensität der magnetischen Kraft verhält sich an der Erdoberfläche zur niedersten = 2052 : 706. Jene höchste Zahl wird in der Nähe des magnetischen Südpoles angenommen; die niedersten Zahlen finden sich zwischen Afrika und Brasilien, unter 19° s. Br., westlich von St. Helena. Der magnetische Nordpol scheint sich keineswegs dem Südpole gleich zu verhalten; in seiner Nähe fand sich eine Intensität von nur 1624, während in New-York, unter 40° 43′ n. Br., die Intensität schon 1803 beträgt; in Vandiemensland, unter 43° 33′ s. Br., steigt sie gleichfalls bis zu 1807. Die stärkste Intensität ist demnach dreimal so groß als die schwächste. Diese wenigen Zahlen beweisen schon, daß die Punkte der größten Intensität nicht geradezu mit den mag-

Digitized by Google

netischen Polen, die Punkte der schwächsten Intensität nicht genau mit dem magnetischen Aequator der Erde zusammenfallen.

Diese Vertheilung der magnetischen Kraft an der Erdoberfläche macht es unmöglich, den Erdkörper geradezu mit einem gewöhnlichen Magnete zu vergleichen. Die Aehnlichkeit ist nur eine annähernde.

Ehe wir aber eine Erläuterung des Erdmagnetismus versuchen, muß noch die Veränderlichkeit in den Erscheinungen des Erdmagnetismus erwähnt werden. Sowohl die Deklination, als die Inklination und die Intensität der Kraft sind Schwankungen je nach den Tages- und Jahreszeiten und je nach längeren Zeiträumen unterworfen. Der Nordpol der Magnetnadel, welcher in unseren Gegenden eine westliche Abweichung zeigt, bewegt sich vom Sonnenaufgang bis Mittag 1 U. noch weiter nach Westen; dann kehrt er wieder nach Osten zurück; er erreicht seine anfängliche Stellung wieder um 10 U. Abends. Während der Nacht bleibt er fast unverrückt; nur scheint er auch eine schwache Bewegung nach Westen auszuführen. Aehnlich sind die Bewegungen der Nadel während der verschiedenen Jahreszeiten. Wenn man die Beobachtung mit dem Januar beginnt, so nimmt bis zum April die westliche Abweichung des Nordpoles zu; sie erreicht ihren höchsten Punkt zur Zeit der Frühlingstagundnachtgleiche. Von dieser Zeit bis zum längsten Tage bewegt sich die Nadel östlich, und sie befindet sich mit dem Anfange des Juli an dem Punkte der geringsten westlichen Abweichung. In den neun übrigen Monaten bewegt sie sich wieder westlich, und im Oktober befindet sie sich z. B. an demselben Punkte wie im Mai; während des Winters ist ihre Bewegung unbedeutend.

Diese täglichen und jährlichen Schwankungen der Nadel haben keine dauernde Veränderung ihres Standes zur Folge; sondern die Nadel kehrt nach einer bestimmten Zeit immer wieder zu dem Ausgangspunkte zurück. Aehnlich, wie die Deklination, scheint auch die Inklination täglich und jährlich sich zu verändern.

Digitized by Google

Soweit die Beobachtungen sich auf die Schwankungen der Nadel in größeren Zeiträumen erstrecken, gewinnt es den Anschein, als ob auch hier keine dauernde Veränderung, sondern nur vorübergehende Abweichungen vom mittleren Stande nach West oder Ost stattfinden würden. Zum Beweise gelten die Beobachtungen über die veränderliche Deklination der Nadel. Im Jahre 1835 betrug die westliche Abweichung zu Paris 22 Grade; im Jahre 1814 hatte sie 22 Grade und 34 Minuten betragen; sie war in diesen 20 Jahren fast ununterbrochen kleiner geworden. Bis 1814 aber war sie 150 Jahre lang gestiegen; 1678 betrug sie nur 1 Grad und 30 Minuten, und 1663 fand weder eine westliche noch eine östliche Deklination statt; vor 1663 hingegen war die Deklination östlich gewesen, 1618 um 8 Grade, 1580 um 11 Grade und 30 Minuten. Es ist gar nicht unwahrscheinlich, daß nach einer längeren Reihe von Jahren die jetzige, fortwährend abnehmende westliche Abweichung allmählig wieder in eine östliche übergehen wird. Auch die Inklination ändert sich in größeren Zeiträumen; so lag der Punkt, an welchem der magnetische Aequator in der Nähe der afrikanischen Küste den geographischen schneidet, im Jahre 1837 um 4° westlicher, als im Jahre 1825. So hat die Inklination während einer längeren Reihe von Jahren im westlichen Europa fortdauernd abgenommen; sie betrug zu Paris 1671 75°, 1829 67° 41′. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß diese Abnahme zuletzt aufhören und wieder einer Zunahme der Inklination Platz machen wird.

Außer den regelmäßigen Schwankungen erleidet die Nadel auch unregelmäßige Störungen; aber es ist nicht nöthig, diese hier zu berühren. Alle solche Abweichungen von dem mittleren Stande der Deklination und Inklination und von dem mittleren Grade der Intensität scheinen in Eine Klasse mit den sogenannten Störungen im Laufe der Gestirne zu gehören (S. 201); es sind vorübergehende Veränderungen, welche durch äußere Einflüsse in der Verwirklichung eines unveränderlichen Gesetzes

Digitized by Google

hervorgebracht werden. Die Nadel kehrt aus allen Schwankungen wieder zum mittleren Werthe der Deklination, Inklination und Intensität zurück.

Man kennt die Ursachen nicht, welche die Schwankungen der Magnetnadel hervorrufen. Eben so wenig aber ist man im Stande, eine genügende Erklärung des Erdmagnetismus überhaupt aufzustellen; nur einzelne Vermuthungen lassen sich bis jetzt aussprechen. Gauß, der Gründer der mathematischen Theorie des Erdmagnetismus, hat berechnet, daß, wenn man die Erde als einen großen Magnet betrachtet, jeder Theil derselben, welcher $3\frac{7}{10}$ Cubikfuß mißt, durchschnittlich wenigstens so stark magnetisirt sein müsse, als ein Magnetstab von 1 Pfund Gewicht. An dieser Zerlegung der magnetischen Kraft, an dieser Magnetisirung können alle Körper der Erde, wenigstens alle Körper der festen Erdkruste sich betheiligen; denn, wie wir früher zeigten, treten alle entweder dauernd oder vorübergehend in ein bestimmtes Verhältniß zum Magnete. Aber die hauptsächliche Frage ist, woher die Magnetisirung der Erde zu erklären sei? Diese Frage läßt sich bis jetzt noch keineswegs beantworten; man muß es vielmehr unentschieden lassen, ob der feste Erdkörper an sich polar-magnetisch ist, wie der Magneteisenstein (S. 109), oder ob seine magnetische Kraft erst durch elektrische Ströme, welche die Erdoberfläche in der Richtung des Aequators umkreisen, in ihre beiden Pole zerlegt wird (S. 135); ob diese Zerlegung nur in den ersten Zeiten der Erdbildung geschehen ist und jetzt fortdauert, oder ob sie in derselben Weise jetzt noch immer geschieht.

Nur so viel läßt sich nicht bestreiten, daß die Wärme in Bezug auf die einzelnen Aeußerungen des Erdmagnetismus eine auffallende Rolle spielt. Die höchste tägliche Deklination findet statt, bald nachdem die Sonne im Meridian eines Ortes gestanden hatte, also zugleich mit der höchsten Erwärmung eines Ortes. Die täglichen und jährlichen Schwankungen sind am größten während der Zeit, wo ein Punkt der Erde am

Digitized by Google

stärksten erwärmt ist; sie sind am schwächsten bei Nacht und im Winter. Insbesondere aber scheint die Intensität der magnetischen Kraft mit der mittleren Wärme eines Ortes zusammenzuhängen. Wenn man diejenigen Punkte, welche gleiche magnetische Intensität besitzen, durch die isodynamischen Linien verbindet, so zeigen diese in ihren Krümmungen, in ihrem Auf- und Absteigen keine genaue Uebereinstimmung, aber doch eine mannigfache Aehnlichkeit mit den Linien gleicher mittlerer Temperatur, mit den Isothermen; die Orte, welche die höchste Mittelwärme haben, sind öfters auch diejenigen, wo die niederste Intensität des Erdmagnetismus beobachtet wird. Diese Andeutungen genügen nicht, um eine direkte Erklärung des Erdmagnetismus aus der Erwärmung der Erde durch die Sonnenstrahlen, aus thermoelektrischen Strömen des Erdkörpers (S. 134) zu rechtfertigen. Die verschiedene Erwärmbarkeit der bedeckten und unbedeckten Erdoberfläche, die geringe Leitungsfähigkeit vieler festen, die Erdrinde zusammensetzenden Substanzen macht es fast unmöglich, eine Erregung thermoelektrischer Ströme durch die Sonnenwärme in der Erdkruste selbst anzunehmen. Aber unmöglich ist es nicht, daß solche Ströme durch die erwärmende Wirkung der Sonnenstrahlen im Luftkreise der Erde entstehen, und daß diese, indem sie die Oberfläche des Erdkörpers von West nach Ost umkreisen, neue Ströme von entgegengesetzter Richtung in der Erdkruste selbst erregen; unmöglich ist es nicht, daß diese sekundären, sogenannten inducirten Ströme die magnetische Kraft des Erdkörpers zerlegen, so daß der eine Pol gegen Norden, der andre gegen Süden sich ausbildet.

Nach dieser Vermuthung wäre der Erdmagnetismus nichts als eine mittelbare Folge der wärmenden Kraft der Sonnenstrahlen; aber diese Vermuthung ist noch weit entfernt von Gewißheit. Die Vertheilung der magnetischen Intensität an der Erdoberfläche, die Lage der magnetischen Pole, die Schwankungen in allen Phänomenen des Erdmagnetismus lassen sich auch aus dieser Vermuthung nicht genügend erklären.

Digitized by Google

Der Erdmagnetismus ist eine dauernde, nie unterbrochene Erscheinung. Von dauernden elektrischen Spannungen ist an der Erdoberfläche nichts Sicheres zu erwähnen; von den vorübergehenden elektrischen Phänomenen wird besser im folgenden Kapitel gehandelt werden. Wir schließen die Schilderung der allgemeinen, dauernden Verhältnisse von Erdkörper, Gewässern und Atmosphäre mit dem Erdmagnetismus ab. Die Individualität der Erde äußert sich nicht blos in ihrem Durchmesser, in dem Grade ihrer Abplattung, in ihren Wärmeverhältnissen, in der allgemeinen Vertheilung von festem Körper, tropfbarflüssiger und gasförmiger Hülle und in der besonderen Gestalt der Continente und Meeresbecken, sondern namentlich auch in der Art, wie die magnetische Kraft der Erde in ihre Gegensätze zerlegt wird. Die Lage der magnetischen Pole und des magnetischen Aequators, die Vertheilung der magnetischen Intensität steht zu der Lage der geographischen Pole und des geographischen Aequators, zu der Anordnung der Continente und Meere, zu der Vertheilung der Wärme an der Erdoberfläche in vielfachen Beziehungen, ohne jedoch aus diesen Beziehungen sich vollständig erklären zu lassen. Nur zwischen dem Erdmagnetismus und den organischen Geschöpfen der Erde scheint kein ähnliches Verhältniß zu bestehen, wie es zwischen jenen Organismen und den Höhen und Tiefen, den Zonen, den Temperaturverhältnissen und Continenten der Erdoberfläche nachgewiesen worden ist. Doch läßt es sich nicht als unmöglich denken, daß die verschiedenen Grade der Intensität des Erdmagnetismus auch auf das organische Leben einen bestimmten Einfluß auszuüben vermögen.

Die Schwere hält die Erde in ihrer Bahn um die Sonne fest, und ebenso wirkt sie in gleichförmiger Weise vom Erdmittelpunkte aus auf alle irdischen Körper. Atmosphäre, Gewässer und fester Körper stehen als Bestandtheile der Planeten sich überall an der Erdoberfläche gegenüber. Die Mannigfaltigkeit hingegen, welche wir auf der Erde beobachten, entspringt

Digitized by Google

theils aus der Vertheilung der Wärme und der magnetischen Kraft, theils aus der Form der Continente und Meere; die ersteren Ursachen wirken seit der Entstehung der Erde ununterbrochen fort; das zweite Moment ist nur die Folge, das bleibende Resultat von den früheren Entwicklungsstufen des Erdkörpers. Alle Mannigfaltigkeit der Erde prägt sich aber in den Gestalten der Thiere und Pflanzen aus, welche die verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche bewohnen.

2) Die Bewegungen in der Atmosphäre, in den Gewässern und in der festen Rinde der Erde.

Festland, Gewässer und Luftkreis, Berge und Thäler, Pole und Aequator stehen sich keineswegs schroff und unvermittelt gegenüber; eine ununterbrochene Wechselwirkung gleicht ihre Gegensätze mannigfaltig aus. Von dieser Wechselwirkung soll hier die eine Seite, die physikalische, untersucht werden; die andere, chemische verlangt eine eigene Betrachtung.

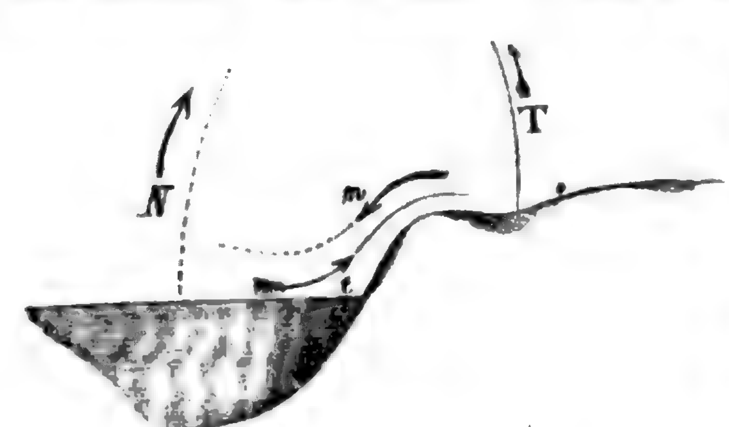
Die Bewegungen, durch welche die verschiedenen Theile der Erde auf einander einwirken, nehmen vorzüglich ihren Ursprung in der Atmosphäre; Winde, Stürme und Orkane bewegen nicht blos den Luftkreis, sondern auch die Wassermassen und die beweglichen Theile der Continente. In der Atmosphäre aber entstehen die Bewegungen insbesondere durch dieselbe Ursache, welche an der Erdoberfläche die meisten Unterschiede und Gegensätze hervorbringt. Die Wärme, welche in Höhen und Tiefen, an Polen und Aequator, auf Festländern und Meeren sich verschieden verhält, erregt im Luftkreis mächtige Bewegungen, und vermittelt so in verschiedenen Gegenden die Extreme der Temperatur.

Daß die Luftschichten, welche die Erdoberfläche berühren, am stärksten erwärmt werden, daß sie durch diese Erwärmung ein geringeres specifisches Gewicht erhalten und in die Höhe steigen, haben wir schon früher (S. 283) erwähnt. Dieser einfache Vorgang wiederholt sich an den verschiedensten Stellen

Digitized by Google

der Erdoberfläche unter verschiedenartigen Bedingungen; von ihm geht vorzüglich die Bewegung der Atmosphäre aus. Die Luftschichten, welche in die Höhe steigen, müssen durch andere ersetzt werden, und dieser Ersatz geschieht dadurch, daß von den Seiten kältere Luft zuströmt; mit dem Aufsteigen der warmen Luft ist also immer ein Herabsinken kälterer Luftschichten verbunden. In jedem geheizten Zimmer finden solche auf- und absteigende Luftströmungen statt, und dieser Kreislauf dauert so lange, bis die Luft des Zimmers gleichmäßig erwärmt ist.

Dieses Gesetz spricht sich in einfacher Weise überall da aus, wo die Küste des Festlandes an eine größere Wassermasse, besonders an ein Meeresbecken gränzt. Aus den früheren Untersuchungen erhellt, daß die Sonnenstrahlen die Oberfläche des Festlandes stärker erwärmen als den Spiegel des Wassers. Daher sind die Luftschichten, welche das Festland bedecken, während des Tages wärmer, als die Luftschichten, welche sich auf dem Spiegel des Meeres befinden. Von beiden Oberflächen steigt die erwärmte Luft in die Höhe; aber der aufsteigende Strom des Landes überwiegt bedeutend den Strom des Meeres. So kommt es, daß vom Meere her diejenigen Luftschichten ersetzt werden, welche von der Oberfläche des Festlandes (T) am Tage aufsteigen; so lange die stärkere Erwärmung des Festlandes dauert, weht daher an der Küste ein Wind von der See gegen das Land hin (t). Aber mit dem Einbruche der Nacht kehrt sich die Ordnung um. Wie das Land am Tage mehr Wärmestrahlen absorbirt, so strahlt es auch bei Nacht mehr Wärme aus, als die Meeresfläche. Daher erkaltet das Land und die Luftschichten, welche ihm nahe liegen, bei Nacht viel rascher; von dem Meere erheben sich jetzt wär-



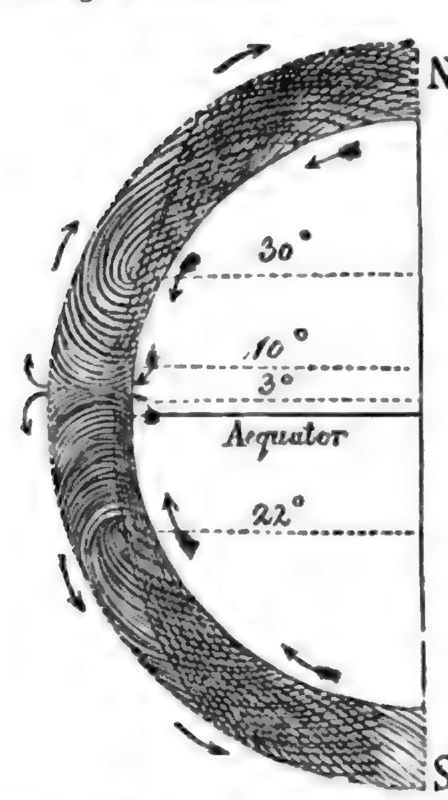
Digitized by Google

mere, aufsteigende Luftströme (N), und von den Seiten strömt die kältere Luft des Landes zum Ersatze herbei (n). Während der Nacht weht an der Meeresküste ein Landwind. So findet zwischen Meer und Land ein abwechselnder Austausch der Luftschichten statt. Die Luft, welche über dem Lande liegt, wird am Tage durch Seewind abgekühlt; bei Nacht streicht ein kühlerer Landwind auf die See hinaus. Dieser Austausch hat großen Theil an der Vermittlung der extremen Temperaturen, welche nicht blos auf der hohen See, sondern auch auf Inseln und an den Küsten großer Continente beobachtet wird. Außerdem führen aber die Seewinde dem Lande Wasserdünste zu, und bei Nacht gelangt vom Lande her trocknere Luft auf die Oberfläche des Meeres; daher zeigt sich die Luft in Küstengegenden weder so feucht wie auf hoher See, noch so trocken wie im Innern großer Festländer.

Die atmosphärische Wechselwirkung, welche zwischen Land und Meer beobachtet wird, wiederholt sich in viel großartigerem Maaßstabe zwischen dem Aequator und den Polen der Erde; nur daß hier der Austausch immer in einer und derselben Richtung erfolgt. Derjenige Theil der Erdoberfläche, welcher zwischen den Wendekreisen liegt, wird durch die Sonnenstrahlen ununterbrochen stärker erwärmt, als die Gegenden der zwei gemäßigten und polaren Zonen der Erde. Daher verhält sich der erstere Abschnitt zu dem letzteren immer gerade so, wie das Festland zum angrenzenden Meere während des Tages. Von den Gegenden der heißen Zone steigt die erwärmte Luft ununterbrochen empor; von den Seiten, d. h. von den gemäßigten und kalten Zonen her strömt in derselben Weise gegen den Aequator hin kalte Luft als Ersatz zu. Die Luft, welche zwischen den Wendekreisen aufgestiegen war, bewegt sich in den höheren Regionen nach Norden und Süden weiter; sie sinkt, da sie sich in der Höhe abkühlt, mehr und mehr wieder zur Erdoberfläche herab. So entsteht in der Lufthülle, welche die Erde umgibt, ein ununterbrochener Kreislauf. Die Luft der wärmsten Ge-

Digitized by Google

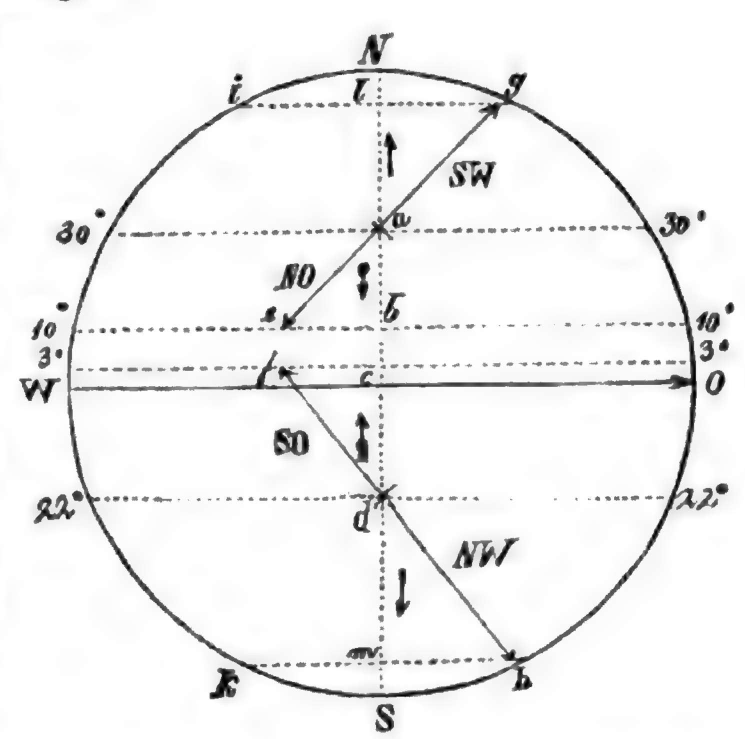
genden steigt empor und fließt in der Höhe nach Norden und Süden weiter; von den Polen kehrt sie in den tiefsten Schichten der Atmosphäre wieder zur warmen Zone zurück. Daraus entspringen die herrschenden Winde, welche auf den Meeren der Erde von größter Bedeutung sind, aber auf den Festländern ihr unbedingtes Uebergewicht und ihre regelmäßige Richtung verlieren.



Der Wärmeäquator, d. h. die Linie der höchsten mittleren Jahreswärme, und der magnetische Aequator, d. h. die Linie ohne Neigung, fallen nicht genau mit dem geographischen Aequator der Erde zusammen, und ebensowenig richten sich die regelmäßigen Winde der Erde völlig nach dieser Linie. Rings um die Erde, und zwar sowohl im großen, als im atlantischen Ocean, läuft als ein schmaler Gürtel die Region der Windstillen. Hier strömt keine Luft regelmäßig von den Seiten zu; sondern es steigen hier nur warme Luftströme bis zu bedeutenden Höhen der Atmosphäre, über 20,000 Fuß hoch empor. Diese Region liegt ganz auf der nördlichen Hemisphäre, zwischen 3° und 10° n. Br.; sie entspricht ziemlich genau den heißesten Gegenden der Erde. Geht man von hier nach Süden und Norden, so strömt auf der See ununterbrochen Luft von den Polen gegen den Aequator; bis zu 30° n. Br. und 22° s. Br. beherrschen diese polaren Strömungen unbedingt die tieferen Schichten des Luftkreises. Aber die Luft, welche zwischen den Wendekreisen aufgestiegen war, sinkt nach Norden und Süden herab. Die Spitze des Piks von Teneriffa reicht schon in diese obere, rückkehrende Strömung herein. Jenseits der Wendekreise erreichen die äquatorialen Ströme die Erdoberfläche selbst, und kreuzen sich oder

Digitized by Google

wechseln mit den Strömungen, welche von den Polen kommen. So könnte man denken, zwischen 30° n. Br. und 22° s. Br. müssen Nordwinde herrschen, gegen die Pole hin aber Nordwinde mit Südwinden abwechseln, oder Südwinde oder Nordwinde das Uebergewicht erlangen. Aber die Umdrehung der Erde um ihre Axe verändert die Richtung der polaren und äquatorialen Luftströmungen.



Wenn die Erde ruhend wäre, so würde sich allerdings der Polarstrom einfach von a nach b und von d nach c bewegen; eben so würde der Aequatorialstrom geradezu von a nach l und von d nach m gelangen. Aber die Erde theilt überdieß der Atmosphäre ihre Axenbewegung mit, und daraus entspringt für jeden Punkt des Luftkreises eine gewisse Umdrehungsgeschwindigkeit, ein Schwung, welcher zunimmt, je mehr man sich dem Aequator nähert (S. 184). Wenn ein Ort unter dem Aequator 1427 Fuße in der Sekunde zurücklegt, so ist seine Geschwindigkeit unter dem 30. Grade nur noch 1229 Fuß. Bewegt sich nun ein Lufttheilchen des Polarstromes von a, d. h. vom 30. Grade aus, zum Aequator, so behält es neben dieser Bewegung seine anfängliche Umdrehungsgeschwindigkeit, und kommt daher in Luftregionen, welche sich mit größerer Schnelligkeit um die Axe der Erde drehen. Wie der Fußgänger gegenüber vom pferdebespannten Wagen, so bleibt die Luft, welche von den Polen zuströmt, zwischen den Wendekreisen hinter der Luft, den Gewässern und der Erdoberfläche dieser Zone zurück. Wenn die Erdoberfläche der warmen

Zone in ihrer Umdrehung um die Erdaxe schon bei a oder c ankommt, so ist die Luft des Polarstromes erst nach e oder f gelangt. Der Polarstrom bewegt sich also außerdem, daß er von den Polen zum Aequator fließt, auch von West nach Ost; aber je mehr er sich dem Aequator nähert, desto mehr weicht seine Umdrehungsgeschwindigkeit von der Schnelligkeit der umgebenden Luftschichten und der darunter liegenden Erdoberfläche ab. So kommt es, daß der Polarstrom scheinbar eine rückschreitende Bewegung nach Westen macht; statt von a nach b und von d nach c zu fließen, scheint er sich von a nach e und von d nach f zu bewegen. Wie die Bäume an der Straße für den vorübereilenden Wagen, wie die Häuser am Flußufer für das fortschwimmende Schiff, so geht der Polarstrom rückwärts für die von West nach Ost sich drehende Erde, für die Gewässer und für die Geschöpfe, welche eben so rasch, wie die Erde, von West nach Ost sich fortbewegen. Der Polarstrom weht daher aus Nordost und Südost, und je näher er dem Aequator kommt, desto überwiegender wird seine ostwestliche Richtung.

Umgekehrt verhalten sich die Aequatorialströme. Die Luft, welche von a nach l oder von d nach m fließt, hat eine größere Umdrehungsgeschwindigkeit, als die Erdoberfläche, die Gewässer und die Atmosphäre unter den Parallelkreisen i l g und k m h. Daher eilt der Aequatorialstrom den Gegenden, in welche er gelangt, in der Umdrehung von West nach Ost voraus; er befindet sich schon in g oder h, wenn die umgebende Atmosphäre erst nach l und m gelangt ist. Der Aequatorialstrom ist daher kein reiner Süd- oder Nordwind; sondern auf der nördlichen Hemisphäre kommt er aus Südwest, auf der südlichen aus Nordwest.

Der Polarstrom, welcher demnach aus Nord- und Südosten weht, wird als Passat bezeichnet. Er herrscht auf der nördlichen Seite der Region der Windstillen ungefähr zwischen 10° und 30° n. Br., auf der südlichen Seite zwischen 3° n. Br.

Digitized by Google

und 22° s. Br. Seine Gränzen wechseln um einige Grade im Sommer und Winter. Er wird in seiner Reinheit nur auf hoher See beobachtet; auf den Festländern wird er durch mannigfaltige Hervorragungen getrübt. Ebenso verhält es sich jenseits der Wendekreise mit den Aequatorialströmen; sie sind nur auf der See deutlich zu bemerken. Ueberdieß aber herrschen hier die Südwest= und Nordwestwinde nicht unbedingt; sondern sie befinden sich im Kampfe mit den von Norden und Süden kommenden Polarströmen; ihr Sieg über diese wird nie anhaltend. Diese Aequatorialströme werden auch als obere oder zurücklaufende Passate bezeichnet. Der Kreislauf der Atmosphäre läßt sich jetzt genauer bestimmen. Außerhalb der Region der Windstillen strömt die Luft an der Erdoberfläche von Nordost und Südost nach Südwest und Nordwest dem Aequator zu; sie erhebt sich in den heißesten Gegenden der Erde und kehrt, allmälig herabsinkend, als Südwest= und Nordwestwind zu den Polen zurück.

In einigen Meeren wird die Regelmäßigkeit der Passate durch die Nähe großer Festländer getrübt. So weht insbesondere im nördlichen Theile des indischen Meeres der Nordostpassat regelmäßig während der sechs Wintermonate, vom Oktober bis zum März. Aber vom April bis September bewirkt die bedeutende Erwärmung des großen asiatischen Festlandes eine Umkehrung des regelmäßigen Windes. Wie an den Meeresküsten bei Tage der Seewind bläst, so weht im nördlichen Theil des indischen Meeres während der Sommermonate ein Wind aus Südwesten; die warme Luft, welche über dem Continente aufsteigt, wird durch seitliches Zuströmen von kälterer Seeluft ersetzt. Diese wechselnden Winde der indischen Meere hat man Monsune genannt.

Wo in der Atmosphäre Winde auftreten, wirken immer dieselben Ursachen ein, aus welchen die großen Strömungen der Atmosphäre so eben erklärt wurden. Das verschiedene Maaß der Erwärmung kann an jedem Punkte der Erdoberfläche Be-

Digitized by Google

wegungen der Luft veranlassen; aber in diese lokalen Winde greifen immer die allgemeinen Strömungen des Luftkreises bestimmend ein. Was nun die allgemeine Natur der Winde betrifft, so möchte schon aus dem Bisherigen klar geworden sein, daß sie nicht mit den Wellen des Wassers oder des Schalles und Lichtes verglichen werden dürfen. Die bewegte Luft gibt nicht blos anderen Luftschichten den Anstoß zur Mitbewegung; sondern die Lufttheilchen werden selbst auf weite Strecken hin fortbewegt; sie führen feste Körper, welche mit ihnen aufgestiegen sind, in ihrem Strome weiter. So gelangte bei einem Ausbruche des Vulkans Cosiguina in Nicaragua am 20. Januar 1835 die vulkanische Asche bis nach Kingston auf Jamaika, und in südwestlicher Richtung, 240 Meilen entfernt, fiel sie auf dem Verdecke des Schiffes Conway in der Südsee nieder; aufsteigende Luftströme hatten die Asche fortgeführt.

Darum wird durch regelmäßige oder unregelmäßige, allgemeine oder örtliche Strömungen der Atmosphäre ein größerer oder kleinerer Theil atmosphärischer Luft mit allen seinen Eigenschaften von einem Punkte der Erdoberfläche an einen anderen versetzt. Unter diese Eigenschaften gehört zuerst der Gehalt an Wasserdünsten. Die Winde, welche aus dem Innern der Continente wehen, sind trocken und daher zur Aufnahme von Feuchtigkeit bereit; von der See her fließen feuchte Luftströme über die Continente hin. Wichtiger ist noch die Temperatur der bewegten Luft. Wo die Aequatorialströmungen vorherrschen, erhöhen sie die Wärme der Atmosphäre; die Polarströmungen hingegen führen die kältere Luft der Pole den tropischen Gegenden zu. So werden die Winde im Allgemeinen und im Einzelnen von größter Bedeutung für das Klima der Länder. Sie gleichen im Allgemeinen die extremen Gegensätze der Temperatur und des Wassergehaltes aus; sie kühlen die tropischen Gegenden ab, und erwärmen die gemäßigten und polaren. Sie befeuchten die Continente, und versehen Küsten und Meere mit trockener Luft. Aber auch im Einzelnen wirken sie verändernd

Digitized by Google

auf das Klima ein, je nachdem polare oder äquatoriale Strömungen, Land- oder Seewinde den hauptsächlichen Zutritt zu einem Lande finden, je nachdem hohe Gebirge den einen oder den andern Wind von einer Gegend ferne halten. Mit der Wirkung der erwärmenden Sonnenstrahlen läßt sich der Einfluß der Winde auf das Klima der Länder zwar nicht in Eine Linie stellen; aber mit der Anordnung von Meer und Festland lassen sich die Winde in dieser Beziehung wohl vergleichen.

Unser hauptsächlicher Zweck war, die Winde als eines und als das vornehmste unter den Mitteln hervorzuheben, durch welche die Wechselwirkung der einzelnen Theile der Erdoberfläche im Großen und im Kleinen bewerkstelligt wird. Die Höhe über dem Meeresspiegel, die Entfernung von dem Aequator, die Vertheilung von Continenten und Gewässern müßten für sich schroffe, unvermittelte Gegensätze in dem Klima der verschiedenen Theile der Erdoberfläche hervorrufen. Aber durch die Luftströmungen wirkt die Eigenthümlichkeit eines Klima's auch weiter, als die engeren Gränzen des Gebietes reichen, und die klimatischen Gegensätze werden durch wechselseitigen Austausch der eigenthümlichen Verhältnisse harmonisch ausgeglichen. Die Eigenthümlichkeit eines Klimas bleibt; aber sie tritt in ununterbrochene Beziehung zu entfernten klimatischen Eigenthümlichkeiten.

Die Wirksamkeit der Luftströmungen beschränkt sich keineswegs nur auf die Atmosphäre selbst; sondern wo an der Erdoberfläche sich Leichtbewegliches findet, wird es von den Luftströmungen fortgerissen, und zwar um so kräftiger, je rascher und dauernder diese Strömungen sind. Vor Allem werden die großen Wassermassen der Erde von den Strömungen der Atmosphäre bewegt.

Wie in der Atmosphäre die warmen Schichten emporsteigen und die kalten zu Boden sinken, so wechselt auch die Lage der Wassertheilchen je nach ihrer Temperatur; und es ist

Digitized by Google

gezeigt worden, daß im Meere und in See'n die tiefsten Schichten immer die kältesten sind. Daraus muß auch in den großen Wassermassen der Erde eine doppelte Bewegung entstehen, eine gegen den Aequator gerichtete Strömung in der Tiefe und eine gegen die Pole gerichtete an der Oberfläche der Meere. Die kalten, von den Polen kommenden Zuflüsse bewirken die niedrige Temperatur der Meerestiefen unter dem Aequator (S. 286). Wenn diese Verschiedenheiten der Temperatur die Bewegungen der Meere allein bestimmen würden, so müßten die Meeresströmungen sich den Luftströmungen durchaus ähnlich verhalten; in der Tiefe würden die Gewässer von Nordost und Südost her dem Aequator zuströmen; unter dem Aequator würden die erwärmten Schichten aufsteigen und aus Südwest und Nordwest wieder an der Oberfläche der Meere den Polen zufließen. Aber in der Wirklichkeit verhält sich die Sache ganz anders. Das Fortschreiten der Fluthwellen von Ost nach West, noch mehr aber der Einfluß der Passatwinde bringen in den tropischen Meeren nicht nur in der Tiefe, sondern auch an der Oberfläche eine Strömung von Osten nach Westen hervor; im atlantischen und im großen Ocean wird diese Strömung auf dieselbe Weise, als sogenannte Aequatorialströmung beobachtet.

Nahe an der Westküste Afrika's, unter dem Aequator beginnt der Aequatorialstrom des atlantischen Meeres; er fließt von hier, breiter werdend, nach Westen zur südamerikanischen Küste hinüber. Hier setzt ihm das Festland ein unübersteigliches Hinderniß entgegen, und der Strom erleidet daher zugleich eine Spaltung und eine Aenderung seines Laufes. Die kleinere Hälfte begleitet die Küste Brasiliens nach Südwest bis zur Mündung des La Plata. Die größere Abtheilung geht nach Nordwesten weiter; sie nimmt die Wasser des Amazonenstromes auf, verfolgt die Nordküste Südamerika's, tritt in das karaibische Meer und in den mexikanischen Meerbusen ein, und findet endlich in diesem das Ende ihrer westlichen Bewegung. Aber der Lauf dieses nördlichen Astes ist damit noch nicht ganz beendigt.

Digitized by Google

Er wendet sich jetzt nach Osten und tritt als Golfstrom zwischen Florida und Cuba wieder in den atlantischen Ocean hinaus. Hier verfolgt er die amerikanische Küste bis Washington; dann wird er aber viel breiter, und seine Gewässer ergießen sich nach Osten zur Straße von Gibraltar, nach Südosten zu den canarischen und capverdischen Inseln, in nordöstlicher Richtung endlich bis nach Irland, England und der ganzen westlichen Küste Skandinaviens. Die Aequatorialströmung des großen Oceans zeigt manche Abweichungen von dem Strome des atlantischen Meeres. Sie beginnt viel breiter an der peruanischen Küste. An ihrem westlichen Ende spaltet sie sich zwar auch in einen südlichen Ast, der die Ostküste Neuhollands verfolgt, und in einen nördlichen, der längs der japanesischen Inselgruppe nach Nordosten fließt, der sich dann nach Osten wendet und an der Westküste Nordamerika's endigt. Aber nicht alle Gewässer der Strömung gehen nach Süden und Norden; sondern ein bedeutender Theil derselben dringt zwischen den Inseln, welche Neuholland mit Asien verbinden, hindurch bis zum indischen Meere. Hier setzt sich die Strömung in ihrer alten, westlichen Richtung bis zur afrikanischen Küste fort; ihr Ende fließt nach Südwesten bis zum Cap der guten Hoffnung.

Die Enden der beiden Aequatorialströme fließen am Rande der ihnen entgegenstehenden Continente nach Norden und Süden gegen die Pole weiter. In eben so reichlichem Maaße erhalten sie polare Zuflüsse, welche an mehreren Stellen als die Ursprünge und Quellen jener Strömungen sich darstellen. So fließen von Süden her drei große Ströme nach Nordosten. Der eine mündet an der Westküste Afrika's in den Anfang der atlantischen Aequatorialströmung. Der zweite folgt der Küste von Chili und krümmt sich an der peruanischen Küste in die Aequatorialströmung des großen Oceans um; der dritte endlich beugt sich an der Westküste Australiens so, daß er in die Aequatorialströmung des indischen Meeres übergeht. Die bedeutende Annäherung der Continente in den höheren nördlichen Breiten verhindert die

Digitized by Google

Gewässer des Nordpolarmeeres, regelmäßig nach Süden zu strömen und sich den Aequatorialströmungen anzuschließen. Nur schwache Ströme gehen durch die Behringstraße nach Südwest und Südost. Viel mächtiger sind die Wassermassen, welche an der Ost- und Westküste Grönlands, von Spitzbergen und von der Baffinsbai her, nach Süden und Südwesten fließen; sie reichen an der amerikanischen Küste herab bis zur Küste Labrador und bis Neufundland, und führen im Anfange des Sommers große Eisblöcke an die Küsten der vereinigten Staaten.

So sind auch die großen Meere der Erde niemals und nirgends in Ruhe. Aber die Ursachen ihrer Strömungen sind mannigfaltiger als die Einflüsse, welche die Atmosphäre in Bewegung setzen; und der hauptsächliche Anstoß für die regelmäßigen Strömungen der Gewässer kommt nicht aus diesen selbst, sondern aus den Strömungen des Luftkreises. Ueberdieß erleiden die Strömungen der Meere von den Festländern viel bedeutendere Beeinträchtigungen, als die atmosphärischen Ströme; ihr Lauf wird an den Küsten völlig verändert oder ganz unterbrochen; die regelmäßigen Winde hingegen wehen mit geringen Veränderungen meist auch über größere Landstriche hin. Endlich wirken die Meeresströme nur wenig auf die umgebenden Wassermassen ein; sie fließen wie die Gewässer des Festlandes in begränzten Bahnen zwischen den wenig bewegten Theilen des Meeres. In jeder Beziehung entspricht daher die Beschaffenheit der Meeresströme der geringeren Beweglichkeit des tropfbarflüssigen Mediums gegenüber der ausgedehnten Beweglichkeit des elastischflüssigen Luftkreises. Auf ähnliche Weise stehen die Strömungen der Meere in ihrem Einfluß auf die Klimate hinter den Strömungen der Atmosphäre zurück.

Die Gewässer, welche in der Tropenzone des atlantischen und des großen Oceans sich von Ost nach West bewegen, erhöhen durch die dauernde Einwirkung der Sonnenstrahlen ihre Temperatur sehr bedeutend. In der Mitte zwischen Afrika und Südamerika, 30 Grade westlich von Paris, zeigt die Aequa-

Digitized by Google

torialströmung unter dem Aequator eine Temperatur von 26°; am Nord- und Südrande der Strömung ist das Meerwasser nur etwa 25 ½ ° warm. Derjenige Zweig der Strömung, welcher der Nordküste Südamerika's folgt, erwärmt sich noch mehr; er bekommt am Ausflusse des Orinoco fast 29°, im Meerbusen von Mexiko über 31° Wärme. Aehnlich verhält sich die Strömung des großen Oceans; in der Mitte zwischen Südamerika und Neuholland zeigt sie 27°; in der Nähe der Molucken ist ihre Temperatur über 30° gestiegen. Diese höhere Wärme wirkt überall ein, wo die Strömungen hingelangen; in den umgebenden Wassermassen verhindert sie die Bildung des Eises; sie verbessert insbesondere das Klima der Festländer, an deren Küsten die warmen Gewässer hinfließen. Diese Wirkung ist vornehmlich an den Endigungen des Golfstromes beobachtet worden. An der amerikanischen Küste sind seine Gewässer noch 28° warm; aber auch auf seinem weiteren Laufe bleibt er mehrere Grade wärmer als das umgebende Meer. Er hat unter 36° n. Br. im December noch 23 ⅓ °, während die umgebende See nur 17° zeigt; unter 40°—41° n. Br. ist der Golfstrom 22 ½ °, die See 17 ½ ° warm. So kommt es, daß die letzten Ausläufer des Golfstromes die mittlere Jahreswärme von England, Irland und ganz Norwegen auffallend erhöhen.

In umgekehrter Weise wirken die Meeresströme, welche von den Polen zum Aequator fließen, auf die Festländer sehr erkältend ein. Dieses wird namentlich an der Westküste Südamerika's beobachtet. Dort wo die mächtige, von Süden kommende, peruanische Küstenströmung sich nach Westen in den Aequatorialstrom des großen Oceans umbiegt, zeigt ihr Wasser nicht ganz 22° Wärme. In der Nähe von Lima beträgt die Temperatur der Küstenströmung nur 18 ½ °—19°; an der Küste von Chili fällt die Temperatur bis zu 18°, 14° und am südlichsten bis zu 11°. Unter 40° s. B. nähert sich die polare Strömung zuerst von Westen her der amerikanischen Küste; südlich von diesem Punkte sinkt ihre Mitteltemperatur noch tiefer als 11°, so unter 50° s. Br.

Digitized by Google

bis zu $6\frac{1}{5}{}^\circ$, unter 60° s. Br. sogar bis $\frac{1}{10}{}^\circ$ unter Null. Die peruanische Küstenströmung bringt eine auffallende Verminderung der jährlichen Mitteltemperatur von Peru und noch mehr von Chili und der Südspitze Amerika's hervor. Daher nähern sich die Isothermen dem Pole weit mehr auf der Ostküste als auf der Westküste Amerika's; die Isotherme von 20° entspricht dort dem dreißigsten, hier dem zwanzigsten Grade s. Br.; Lima, unter 12° s. Br., hat eine Mitteltemperatur von $22\frac{7}{10}{}^\circ$; Rio Janeiro hingegen, obwohl es unter 22° s. Br. liegt, zeigt $23\frac{1}{2}{}^\circ$ mittlere Wärme.

Nächst der peruanischen Küstenströmung ist es besonders der polare Strom an der Ostküste von Nordamerika, welcher die Temperatur des Festlandes auffallend herabsetzt. Nain liegt auf der Küste Labrador unter 57° n. Br.; seine mittlere Jahrestemperatur ist $3\frac{1}{2}{}^\circ$ unter Null. Vergleicht man hiemit Sitcha, welches unter demselben Breitegrade, aber an der Westküste Nordamerika's liegt, so beträgt seine Mitteltemperatur $7\frac{1}{3}{}^\circ$ über Null. Dieser sehr bedeutende Unterschied erklärt sich allerdings zum Theil aus den warmen Gewässern, welche von der rückkehrenden Aequatorialströmung des großen Oceans an die Westküsten Nordamerika's gelangen; aber in überwiegendem Maaße ist er von dem Mangel erkältender Polarströme an der Westküste abzuleiten; im Innern des amerikanischen Continentes sinkt daher die Mitteltemperatur unter 57° n. Br. nur bis zu $\frac{4}{5}{}^\circ$ unter dem Eispunkte herab. Der Kontrast wird aber noch auffallender, wenn man die Ostküste Nordamerika's mit der Westküste Europa's vergleicht. Gothenburg, welches unter 57° 42′ n. Br. liegt, hat eine höhere Mitteltemperatur als Sitcha, nämlich $10\frac{1}{4}{}^\circ$; und das Nordkap, unter 71° n. Br., zeigt noch $\frac{1}{10}{}^\circ$ über Null, also bedeutend mehr, als das unter 57° n. Br. gelegene Nain. Hier sind es die äußersten Arme des Golfstroms, welche an den europäischen Westküsten bis zur Nordspitze Skandinaviens hinauf, das Klima der Festländer verbessern. Nirgends ist die Einwirkung warmer Meeresströ-

Digitized by Google

mungen auf die Mitteltemperatur eines Ortes so deutlich, wie an jenen Küsten. Nächstdem folgt die Westküste Nordamerika's, welche die letzten Ausläufer der warmen Aequatorialströmung des großen Oceanes erhält. Was die Erkältung der Küsten durch kalte Meeresströme betrifft, so steht hier obenan die Südspitze Amerika's, Chili und Peru; diesen folgt unmittelbar die Küste Labrador und Neufundland; kalte Polarströme drücken hier die Wärme auffallend herab.

Diese mächtigen Meeresströmungen tragen zwar auch die höhere oder niedrigere Temperatur von dem einen Orte zum andern hinüber. Aber die Vermittlung zwischen extremen Temperaturen ist bei ihnen viel beschränkter als bei den Strömungen der Atmosphäre. Während diese auf weite Strecken in gleicher oder ähnlicher Weise vermittelnd einwirken, verändern die Strömungen der Meere nur die Klimate einzelner Küstenstriche; sie gleichen nicht im Allgemeinen die Gegensätze aus; sondern durch lokale Ausgleichung verleihen sie einzelnen Gegenden wieder neue Eigenthümlichkeiten. Und jetzt, nachdem wir in den Meeresströmen Bewegungen geschildert haben, welche den Strömungen der Luft zum größeren Theile ihren Ursprung verdanken, sind mit wenigen Worten noch die Ortsveränderungen zu erwähnen, welche die Bewegungen der Atmosphäre auf dem festen Lande hervorbringen. Es kann hier natürlich nicht von den örtlichen und vereinzelten Wirkungen heftiger Winde und Stürme die Rede sein, sondern nur von solchen dauernden und ausgedehnten Fortbewegungen fester Körper, welche durch regelmäßige Luftströme hervorgerufen werden.

Eine solche regelmäßige Einwirkung von Luftströmungen auf die Oberfläche des Festlandes wird nur an der Oberfläche von *Wüsten* beobachtet, welche mit *leichtbeweglichem Sande* bedeckt sind. Das ausgedehnteste Beispiel bietet in dieser Beziehung die Sahara dar. Der Nordostpassat, welcher über ihrer Fläche weht, treibt den Sand fortwährend, wenn

Digitized by Google

auch langsam, von Osten nach Westen weiter. Daher sind die westlichen Theile der afrikanischen Wüste am sandreichsten, während an ihrem östlichen Ende der nackte, von Sand entblöste Fels ihren Boden bildet. Daher sind Flüsse, welche sich sonst in das atlantische Meer ergossen hatten, von der Meeresküste durch den fortrückenden Sand verdrängt worden und verlieren sich jetzt in der Wüste. Ob hier bewohnte, an Vegetation reiche Gegenden allmählig in Sandwüsten verwandelt worden sind, läßt sich nicht entscheiden; alle Vermuthungen, welche über die früheren Zustände der Sahara aufgestellt worden sind, ruhen auf zu schwachem Grunde. Aber in andern Gegenden sind in historischer Zeit große Flüße durch fortrückenden Sand von ihrem Laufe abgelenkt oder völlig abgedämmt und fruchtbare Landschaften in öde Sandwüsten umgewandelt worden. Der große Amu oder Oxus, welcher jetzt in das südliche Ende des Aralsee's sich ausmündet, floß einst zum Theile oder ganz ins kaspische Meer; der Sand, welcher nach Nordosten im turanischen Tieflande sich ausbreitete, hat ihn von seiner früheren Mündung zurückgeschoben. Aber nicht nur im Tieflande von Turan bewegt sich der Sand, durch Luftströmungen aufgeregt, von Westen nach Osten weiter; nicht nur hier hat er Flüsse zugedämmt und blühende Städte in vereinzelte Oasen verwandelt; sondern auch das Plateau von Iran bietet reichliche Beispiele von den Wanderungen des Wüstensandes dar; auch dort liegen reiche Landstriche und volkreiche Städte jetzt unter dem Sande begraben.

Wenn die Meeresströmungen schon hinter den Strömungen der Atmosphäre weit an Ausdehnung und Wirkung zurückbleiben, so läßt sich die Bewegung des Sandes, welche eben beschrieben wurde, mit jenen Strömungen gar nicht vergleichen. Die geringe Verbreitung des Phänomenes weist den Wanderungen des Flugsandes ein ganz lokales Interesse an; und was der Flugsand mit sich führt, sind nicht allgemeine Einflüsse, Kälte oder Wärme, Feuchtigkeit oder Trockenheit; sondern nur

Digitized by Google

die eigenthümliche Bodenbeschaffenheit, der Mangel aller Vegetation pflanzt sich von dem einen Punkte zum andern fort. Mit dem letzten Effekte der Luftströmungen sind wir von einer der umfassendsten Erscheinungen zu einer sehr beschränkten herabgestiegen.

Es ist vor Allem der mächtige Einfluß der Wärme, welcher unmittelbar die Strömungen des Luftkreises und durch diese mittelbar die Strömungen des Meeres erzeugt. Umgekehrt bewirken Luft- und Meeresströme wiederum vorzüglich eine Veränderung der Temperaturen, eine Ausgleichung der Extreme zwischen Polen und Aequator, Bergeshöhen und Meeresoberfläche. Aber es gibt noch andere Gegensätze an der Erdoberfläche, welche zwar nicht auf die Atmosphäre, aber auf die Gewässer der Erde bewegend einwirken, und hinwiederum selbst durch die Bewegungen der tropfbarflüssigen Hülle einigermaßen verwischt werden. Von den Höhen der Gebirge stürzen Quellen und Bäche herab; sie sammeln sich zu Flüssen und strömen endlich den Meeren zu, welche die tiefsten Orte der Erdoberfläche erfüllen. Das Gesetz der Schwere zwingt die beweglichen Gewässer, die Tiefen zu suchen; und während die Gewässer von den höchsten Gebirgen zum Meeresgrunde herabeilen, gleichen sie die Erhebungen aus, welche an der Erdoberfläche ihren Lauf veranlaßt und begränzt hatten. In den Meeren bringt die Schwerkraft, sofern sie vom Monde aus auf die Erde einwirkt, ihre Effekte unter der Form der Ebbe und Fluth hervor (S. 31). Es ist nicht möglich, die Theorie dieser Erscheinung hier in Kürze zu entwickeln; aber so viel mag doch erwähnt werden, daß das Meer sich zu Fluthwellen immer an denjenigen Stellen erhebt, welche sich in der größten Mondnähe oder in der größten Mondferne befinden. Da nun der Mond seine scheinbare tägliche Umdrehung um die Erde in 25 Stunden vollendet, so tritt in dieser Zeit zweimal Fluth und dazwischen zweimal Ebbe ein. Der gewaltige und immer wiederholte Stoß der Fluthwellen zertrümmert die Meeresküsten;

Digitized by Google

aber die Fluth wirft auch Gesteinsmassen aus und trägt dadurch zur Vergrößerung der Küsten bei. Fluth und Ebbe gleichen, wie die Bewegungen der süßen Gewässer, vielfach die schroffen Gegensätze der Höhen und Tiefen der Erdoberfläche aus.

Chemische Processe, von welchen in dem folgenden Kapitel die Rede sein wird, zertrümmern in Verbindung mit der mechanischen Gewalt des aus der Atmosphäre herabstürzenden Regens die Oberfläche der unbedeckten Gesteine. Vor Allem sind es die Höhen der Gebirge, welche den zerstörenden Gewalten nackte Gesteinsoberflächen darbieten. Von den Abhängen der Gebirge stürzen große und kleine Trümmer auf den Grund der Thäler hinab, und werden hier ununterbrochen oder vorübergehend von fließenden Gewässern aufgenommen und fortgerissen. Wo dann Bäche und Flüsse mit größerer Geschwindigkeit sich fortbewegen, zertrümmern sie selbst ihr Bett, und fügen den Geröllen, welche sie von weiterher mit sich führen, andere, neugebildete hinzu. Aber nicht alle diese Gesteinstrümmer gelangen mit den Flüssen bis zu ihrer Ausmündung in Meeresbecken; sondern ein größerer oder kleinerer Theil derselben wird von den Flüssen an verschiedenen Stellen ihres Laufes abgesetzt. Flüsse, welche von Hochgebirgen entspringen, haben im obersten Theile ihres Laufes mit dem stärksten Falle und mit der größten Geschwindigkeit ihrer Bewegung auch die größte Kraft im Fortreißen schwerer Gesteinstrümmer. Aber wenn sie aus den Hochgebirgen heraustreten, verlangsamt sich ihr Lauf, und die schwersten Geschiebe, soweit sie nicht im obersten Theile schon abgesetzt sind, bleiben jetzt am Rande oder im Bette des Flusses liegen. Im mittleren Laufe des Flusses setzen sich mehr und mehr die Geschiebe von mittlerer Größe ab; und wenn der Fluß in den Niederungen ankommt, wie sie in den Niederlanden und Unterägypten den Rhein und Nil vor ihrer Mündung aufnehmen, so ist im Flusse kaum etwas Anderes von Trümmern übrig geblieben, als ihre leichteste Art, Sand, Staub und Schlamm. Auf diese Weise werden die Trümmergesteine von Flüssen mit

Digitized by Google

längerem Laufe je nach Größe und Schwere ausgesondert; die leichtesten können sich überall absetzen; aber ihr Absatz wird doch um so überwiegender, je mehr man sich der Mündung nähert.

Die Zerstörung, welche die Gewässer des Festlandes anrichten, wird bei Hochgewässern, bei Ueberschwemmungen oft beobachtet; aber an einzelnen Stellen findet eine dauernde Abnützung des Flußbettes statt, und der Effekt springt dann deutlicher in die Augen. Dahin gehören besonders die Stromschnellen und die Wasserfälle großer und kleiner Flüsse. Der Rheinfall bei Schaffhausen erleidet durch die fortdauernde Zertrümmerung der Felsen seines Bettes eine zunehmende, merkliche Verminderung seiner Höhe; wenn, wie sich mit Bestimmtheit voraussehen läßt, auch der mittlere, höchste Felsen des Falles zusammenstürzt, so geht der ganze Rheinfall in eine blose Stromschnelle über.

In viel größerem Maaßstabe wiederholt sich das Phänomen an dem mächtigen, 150 Fuß hohen Falle des Niagara. Dieser entspringt aus dem Eriesee und ergießt seine Gewässer in den Ontariosee. An den ersteren dieser See'n schließt sich ein ausgedehntes, 200 Fuß hohes Plateau an, welches durch eine hohe Terrasse sich in die tiefere Ebene des Ontariosee's abstuft. Wahrscheinlich stürzte der Niagara ursprünglich am Rande dieses Plateau's in die Ebene hinab, um nach einem weitern Laufe von einer geographischen Meile den Ontariosee zu erreichen. Aber der Niagarafall liegt jetzt nicht mehr hier, sondern 1 ½ Meilen höher oben, und vom Falle bis zur Ebene bewegt sich der Niagara in einer engen Schlucht zwischen hohen Felsenufern. Ohne Zweifel haben die gewaltigen Wassermassen des Niagarafalles eine fortschreitende Zertrümmerung des schiefrigen Gesteines, welches den Boden des Falles bildet, ein Nachstürzen der darauf ruhenden Kalksteinmassen und ebendamit ein ununterbrochenes Zurückweichen des Falles bewirkt; die enge Schlucht hat der Strom sich selber ausgetieft. Es liegen historische Thatsachen vor, wonach der Niagarafall in den letzten

Digitized by Google

vierzig Jahren dreihundert englische Fuß zurückgewichen ist. Das Zurückweichen dauert ununterbrochen fort, und dreißigtausend Jahre werden nach diesem Maaßstabe verfließen, bis der Fall an die Ufer des Eriesee's, 4 Meilen weit zurückgegangen ist; zehntausend Jahre hat das Zurückweichen des Falles vom Rande des Plateau's bis zu seiner jetzigen Stelle bedurft. Wenn der Niagarafall an den Ufern des Eriesee's ankommt, so muß dieser langsam oder schnell durch das vertiefte Bett des Niagara abfließen.

Der Niagara bietet für die Austiefung eines Flußbettes durch die Gewalt des herabstürzenden Wassers das großartigste Beispiel dar. Aber es ist sehr nothwendig, hier sogleich die falsche Annahme zu erwähnen, als ob, wie man früher allgemein glaubte, alle Thäler der Erde von den Gewässern eingeschnitten seien. Die wesentliche Richtung der Thäler ist nicht durch die Gewässer, sondern durch die Hebungen und Senkungen der festen Erdrinde selbst bestimmt worden. In diesen Thälern bewegen sich jetzt die Bäche und Flüsse, und sie vermögen in untergeordneter Weise die Form der Thäler zu verändern, insbesondre ihr Bett zu vertiefen und Hindernisse, welche sich ihrem Laufe entgegensetzen, wegzuräumen. Ferner läßt sich mit ziemlicher Sicherheit behaupten, daß der Erisee in künftigen Zeiten durch das Bett des Niagara abfließen wird. Aehnlich verhalten sich auch andere See'n. Aber nicht allen See'n steht dasselbe Schicksal bevor; und man hat andrerseits nicht das Recht, überall, wo jetzt kesselförmige Thäler sich finden, frühere See'n zu vermuthen. So ist die Annahme nicht gehörig begründet, daß Böhmen früher einen großen See gebildet habe; und ebenso muß dahingestellt bleiben, ob Kaschmir einst ein See gewesen sei.

Wenn die Bäche und Flüsse auf der einen Seite ihr Bett und Ufer zerstören, ihren Lauf verändern, ihren Grund vertiefen, so setzen sie auf der andern Seite ihre Trümmer an verschiedenen Stellen ab Die Geschiebe der Alpenflüsse gelangen

Digitized by Google

nur zum kleineren Theile in die tieferen Gegenden hinab; denn rings um die Gebirgsmasse der Schweizeralpen befinden sich See'n, in welchen die hauptsächliche Masse des Gebirgsschuttes sich ablagert. Hoch oben säubern sich schon einzelne Flüsse im Zürcher, Vierwaldstätter, Thuner See; am Rande der Schweiz aber setzt der Rhein im Bodensee, die Rhone im Genfersee, der Tessin im Lago Maggiore die Mehrzahl und insbesondere die größeren und mittleren seiner Geschiebe ab. Der gleiche Absatz findet überall statt, wo größere, besonders von Gebirgen kommende Flüsse durch See'n strömen. Wo die Flüsse eintreten, sinkt der Schutt zu Boden und erhöht mehr und mehr den Boden des See's. Es läßt sich die Möglichkeit nicht ausschließen, daß selbst größere See'n durch solche Absätze einmal ausgefüllt werden; aber z. B. beim Bodensee oder Genfersee würde dazu ein überaus langer Zeitraum nöthig sein. In kleinerem Maaße aber, an einzelnen Punkten größerer See'n läßt sich eine solche Ausfüllung wohl beobachten. So soll der Ort Provallais früher ein Hafen des Genfersee's, in der Nähe der Rhonemündung gewesen sein; aber jetzt liegt er in Folge der Anschwemmungen der Rhone eine Lieue vom Ufer entfernt; so haben die Adda und Mera den oberen Theil des Comersee's fast ganz ausgefüllt.

Was hier die Tiefe der See'n für den Absatz der Geschiebe leistet, das thut im untersten Laufe größerer Flüsse ihre äußerst geringe Geschwindigkeit. Der Rhein, der Po, der Nil, der Missisippi setzen in den Niederungen, durch welche sie zuletzt strömen, einen Theil ihrer feinsten, staubartigen Geschiebe ab. So kommt es, daß diese Flüsse, statt ihr Bett zu vertiefen, im untersten Theile ihres Laufes ihr Bett erhöhen. Die nächste Folge dieser Erhöhung ist, daß die Flüsse in den Niederungen nach längerer oder kürzerer Zeit ihren Lauf verändern, das erhöhte Bett verlassen, und in dem nebenliegenden, tieferen Lande eine neue Richtung einschlagen. So lief der Po früher viel südlicher, am Fuße der Apenninen; aber je mehr

Digitized by Google

Schutt er herabführte und in seinem Bette ablagerte, desto weiter rückte er vom Gebirge weg, nach den offeneren, nördlichen Gegenden hin.

Dann veranlaßt die Erhöhung des Bettes bei jedem Steigen des Flusses ausgedehnte Ueberschwemmungen; als Beispiel hiefür mag das untere, zwischen den Armen des Delta's eingeschlossene Nilthal genügen. Wo solche Ueberschwemmungen vorkommen, bleibt die Erhöhung durch feine Gesteinstrümmer nicht auf das Flußbett beschränkt; das ganze zwischenliegende Land behält, wenn die ausgetretenen Gewässer vertrocknen oder ablaufen, eine frische Decke von fruchtbarem Boden; das Land wächst in die Dicke mit der Wiederholung der Ueberschwemmungen. Man hat indeß auf diesen Nutzen in den meisten Flußniederungen verzichtet, weil die Ueberschwemmungen daneben den menschlichen Wohnungen und den Feldern mancherlei Nachtheil bringen. Daher hat man den Rhein, den Po und theilweise auch den Mississippi mit Dämmen eingefaßt, welche die Ströme an der Veränderung ihres Bettes und an dem Uebertreten über ihre Ufer hindern. Aber wo der seitliche Abfluß der Gewässer ganz fehlt, da erhöht sich das Bett der Flüsse unverhältnißmäßig, und das zwischenliegende Land nimmt nicht in gleichem Maaße an Höhe zu. Daher liegen nicht blos die Dämme, sondern auch der Grund des Rheines und des Po's an vielen Stellen höher als die umgebenden Ebenen; das Bett des Po's liegt höher als die Häuser von Ferrara. Wo daher Flüsse in Niederungen zwischen Dämmen laufen, steigt mit der Länge der Zeit die Gefahr der Ueberschwemmung, und die Erhaltung der Dämme verlangt immer neuen, steigenden Aufwand.

Endlich, wenn die Flüsse sich in das Meer ergießen, führen sie noch einen größeren oder kleineren Theil ihrer Geschiebe mit sich. Je länger der Lauf der Flüsse, je langsamer er am Ende war, je mehr er durch See'n unterbrochen wurde, desto weniger Gesteinstrümmer tragen die Flüsse bis zum Meere, und desto feiner, staubähnlicher sind diese letzten, ins Meer ab-

Digitized by Google

gesetzten Geschiebe. Flüsse, welche an Ueberschwemmung des Landes durch Dämme verhindert werden, führen dem Meere mehr Geschiebe zu, als solche, die ungehindert über ihre Ufer treten; der erstere Fall tritt beim Po, der zweite beim Nil sehr deutlich ein. Im Allgemeinen läßt sich nun keineswegs bezweifeln, daß die Geschiebe, welche von den Flüssen dem Meere zugeführt werden, den Grund der Meere, besonders in der Nähe der Küsten, erhöhen. Aber es fehlen durchaus alle Anhaltspunkte, um über das Maaß dieser Erhöhung im Allgemeinen und Großen eine Vermuthung aussprechen zu können. Was im Einzelnen zur Beobachtung gekommen ist, kann erst dann gehörig beurtheilt werden, wenn die Wirkungen des Meeres auf die Küsten erörtert worden sind.

Die Brandung, welche an die Küsten aller Meere anschlägt, unterwühlt allmählig die Küstenränder, und je weicher das Gestein, je stärker die Brandung ist, desto rascher stürzen die Küsten zusammen. Große Landstriche sind auf diese Weise die Beute der Meereswellen geworden. So wurde vom Jahre 1277 bis zum Jahr 1539 am Ausflusse der Ems durch wiederholte Einbrüche des Meeres allmählig der Dollart gebildet; zur Zeit seiner weitesten Ausdehnung umfaßte dieser 6 Quadratmeilen; aber ein Theil desselben ist schon jetzt wieder durch neue Absätze ausgefüllt. So bildete der Zuyder Zee ursprünglich nur eine Ansammlung von süßen, aus dem Rheine ausgetretenen Gewässern; aber während des 13. Jahrhunderts durchbrach das Meer den Saum des Festlandes, und verwandelte den See in einen großen Meerbusen. Diese Beispiele könnten leicht durch andere, von den verschiedensten Küsten hergenommene vermehrt werden. Aber das Angeführte beweist schon zur Genüge, wie das Meer die Küsten zertrümmert. Auch diese, vom Meere selbst gebildeten Trümmer sinken in den Grund des Meeres hinab und dienen zur Erhöhung des Meeresbodens. Aber einen Theil derselben wirft das Meer wieder an seinen Küsten aus.

Digitized by Google

Wenn die Wellen hoch gehen, wenn sie von Stürmen heftig bewegt werden, so wühlen sie den Meeresgrund auf und beladen sich mit Sand oder größeren Geschieben. Bedecken sie dann während ihres höchsten Standes flache Küstenstriche, so führen sie hieher die Geschiebe mit sich und setzen sie, wenn sie sich wieder zurückziehen, auf dem verlassenen Boden ab. Auf diese Weise entstehen an allen Küsten Geschiebe- und Sandbänke; aber ihre Form und ihre Existenz wird durch verschiedene Umstände bedingt. An vielen Punkten reißen nachfolgende Wellen wieder die Bänke weg, die von früheren Wellen gebildet waren; an anderen Orten ist der Bestand der Bänke gesichert. Das eine Mal werden die Bänke meistens vom Meere bedeckt; andre Male erreichen sie eine Höhe, welche sie über die gewöhnliche Höhe der Meereswogen emporhebt. Es sind besonders die bleibenden, über den Meeresspiegel erhobenen Bänke, welche hier eine weitere Betrachtung verdienen. Sie stellen eine Gränze dar, welche das Meer selbst seinem Vordringen gegen das Festland hin setzt und nur bei sehr hohen Fluthen überschreitet. Sie bilden sich entweder auf der Küste des Festlandes selber aus; oder entstehen sie, wenn das Meer eine geringe Tiefe hat, in einiger Entfernung von den Küsten. Ihre Form ist gleichartig, schwach gekrümmt. Wenn Sand ihren hauptsächlichen Bestandtheil darstellt, so werden sie als Dünen bezeichnet; die niederländische Küste bietet ein naheliegendes und großartiges Beispiel der Dünenbildung dar. Von Geschiebebänken hingegen, welche sich zwar da und dort dem Festlande anschließen, aber doch aus dem Meere selbst sich erheben, mögen vorerst nur die frische und die kurische Nehrung erwähnt werden, welche als schmale Landzungen das frische und das kurische Haff von der Ostsee trennen.

Ueberall nun, wo Dünen oder Bänke von größeren Geschieben sich quer vor der Mündung größerer Flüsse aus dem wenig tiefen Meeresgrunde erheben, veranlassen sie Deltabildungen. Unterägypten, die Niederlande, die Mündungen des Po und des

Digitized by Google

Mississippi haben für die Geschichte dieser Bildungen die besten Anhaltspunkte gegeben. Zwischen dem Festlande und der Bank, welche dem Flusse nur durch einige Mündungen den Austritt gewährt, liegen Lagunen, Ansammlungen von süßem, bisweilen auch von gesalzenem Wasser; die Lagunen von Venedig, die großen Seen Mareotis, Burlos und Menzaleh, welche in der Nähe der Nilmündungen liegen, gehören in diese Klassen. Im Laufe der Jahrhunderte setzen die Flüsse, während sie durch die Lagunen strömen, mehr und mehr Schlamm und Geschiebe ab. Der Meeresboden erhebt sich hier, und vom Rande des Festlandes aus steigt er allmählig über den Meeresspiegel empor. Wo Lagunen waren, entsteht fruchtbares und bewohnbares Land; der Zwischenraum zwischen dem Festlande und den vorliegenden Bänken wird endlich vollständig ausgefüllt. Auf diese Weise haben sich die Niederlande hinter den schützenden Wällen ihrer Dünen aus den Absätzen des Rheines und der Schelde gebildet; so ist Unterägypten entstanden; so liegt Adria, welches in alten Zeiten ein Hafen war, jetzt 60,000 Fuß vom Meere entfernt, am Westrande der vom Po ausgefüllten Lagunen; so wird einst auch Venedig aufhören, von Lagunen eingeschlossen zu sein, und dem Festlande angehören.

Die Deltabildungen verdanken demnach ihren Ursprung keineswegs, wie man noch häufig glaubt, nur den Absätzen der Flußgeschiebe auf dem flachen Meeresboden in der Nähe der Küsten; sondern sie bedürfen zu ihrem Entstehen nothwendig die Anwesenheit jener Sand- oder Geschiebebänke, welche vom Meere selbst gebildet sind und den ruhigen Absatz der Flußgeschiebe möglich machen. Erst wo auf diese Weise Deltabildungen im Gange sind, greifen die Absätze der Flüsse bisweilen an ihrer Hauptmündung über den Damm hinaus, welcher das Gebiet des Flusses vom Meeresgebiet getrennt hatte. Die Niederlande bieten hievon kein Beispiel dar. Aber die Mündung des Po ist auffallend über den begränzenden Damm ins Meer hinausgerückt; man bringt diese Eigenthümlichkeit mit der

Eindämmung des Po in Beziehung; die große Menge von Geschieben, welche dadurch innerhalb der Ufer des Flusses bleibt, vermittelt an der Mündung eine rasche Erhöhung des Meeresbodens. Noch auffallender ragt die Mündung des Missisippi ins Meer hinein; aber hier sind es namentlich die zahllosen Baumstämme, die vom Missisippi herabgeführt werden und mit den Geschieben des Flusses sich anfangs zu beweglichen und dann zu festen Absätzen verbinden.

Die Bildungen der Delta sind an mehreren Punkten, besonders in den Niederlanden und in Unterägypten, für die Niederlassungen und die Kultur der Menschen von großer Bedeutung geworden. Gegenüber von den Beeinträchtigungen des Festlandes durch süße Gewässer und Meere stellen sie das großartigste Wachsthum der Festländer auf Kosten der Meeresbecken dar. Aber ihre Erscheinung ist doch immer nur eine beschränkte. Was das Festland durch die Gewässer verliert, dient zum größten Theile nur dazu, den Boden der Flüsse, der See'n und Meere um etwas zu erhöhen. Insbesondere scheinen die Vertiefungen des Meeresgrundes durch die Geschiebe, welche das Meer selbst an den Küsten losreißt, oder welche die Flüsse dem Meere zuführen, einigermaßen ausgeglichen zu werden. So weit man den Meeresgrund kennt, scheint er, wenigstens fern von den Küsten, ziemlich flach und horizontal zu sein.

Die Veränderungen, welche süße Gewässer und Meere an der Gestalt der festen Erdkruste hervorbringen, reichen zwar nicht hin, große Erhebungen und Vertiefungen völlig zu verwischen. Aber die schroffesten Spitzen der Gebirge werden durch die Einwirkung der Gewässer gebrochen und zertrümmert, die größten Tiefen der Meere durch Absatz von Geschieben ausgefüllt, überhaupt also die schärfsten Gegensätze von Hoch und Tief gemildert. Und hier wären jetzt noch diejenigen Fälle zu erwähnen, wo ohne direkte Einwirkung von Gewässern Theile der Erdrinde aus der Höhe in die Tiefe herabstürzen. Das furchtbarste Beispiel wirklicher Bergstürze war die Katastrophe,

Digitized by Google

durch welche im Jahre 1806 das Dorf Goldau am Fuße des Rigi verschüttet wurde; auf einer thonreichen, durch heftigen Regen erweichten Sandsteinschichte gleitete ein mächtiges Lager von Nagelfluh 3000 Fuß tief ins Thal hinab. Aehnliche Rutschungen trifft man nicht selten an Gesteinschichten von geringerer Ausdehnung; aber in der jetzigen Ordnung der Dinge treten sie nicht als eine umfassende, in den Zusammenhang des Ganzen eingreifende Erscheinung auf. Wichtiger ist es, die regelmäßigen Bewegungen jener Eismassen zu erörtern, welche durch ihre Beständigkeit sich vielmehr den festen Körpern, als den Gewässern der Erdoberfläche anschließen. Die Bewegungen der Gletscher sind in neuester Zeit der Gegenstand der gründlichsten Untersuchungen und zugleich der Ausgangspunkt weitgreifender geologischer Theorieen geworden.

In jenen Gebirgen, welche, wie die Alpen, mächtige Ansammlungen von ewigem Schnee auf ihren Höhen tragen, stürzt ein Theil dieser Schneemassen, namentlich im Frühling und Sommer, in die obersten Anfänge der Hochthäler hinab. Hier schmilzt der Schnee wohl theilweise durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen; aber viel Schnee bleibt ungeschmolzen und wird nur in seiner physikalischen Beschaffenheit allmählig verändert. Das Schneewasser, welches sich an der Oberfläche gebildet hatte, sickert in die Zwischenräume des Schnee's hinab, und indem es hier aufs Neue gefriert, vereinigt es die Flocken des Schnee's zu feinen Körnern; man nennt diese feinkörnige Masse den Firn. Mit der Bildung des Firnes haben die Schneemassen an innerem Zusammenhang gewonnen und treten jetzt als ein Ganzes auf; sie fangen an, sich auf ihrer Unterlage fortzubewegen. Die Gewässer nämlich, welche dem oberflächlichen Schmelzen der Schneemassen ihren Ursprung verdanken, sinken theilweise durch die ganze Masse des Firnes hindurch, und lockern, indem sie auf der festen Unterlage weiter fließen, den Zusammenhang zwischen jener Masse und dem Gestein, auf welchem sie ruht. Da nun der Grund der Hoch-

Digitized by Google

thäler mehr oder weniger geneigt ist, so gleitet die Firnmasse auf ihrer Unterlage langsam thalabwärts; ihre eigene Schwere bringt ein daurendes Rutschen derselben hervor.

Während dieses Abwärtsgleitens verändert der Firn fortwährend seine Beschaffenheit. Das anhaltende Schmelzen der Oberfläche, das Hinabsinken des entstandenen Wassers in die Tiefe, das Wiedergefrieren desselben in den Zwischenräumen der Körner des Firnes lassen das Firneis allmählig fester und zusammenhängender werden. Das eigentliche Gletschereis, welches auf diese Weise entsteht, wird indeß dem gewöhnlichen Eise nie völlig gleich; es erinnert immer noch an seinen Ursprung durch seine größere Porosität und geringere Durchsichtigkeit. Je mehr nun der Gletscher als ein Ganzes in die Tiefe rückt, desto mehr zerklüftet er sich in seinem Innern; der eigene Druck der Gletschermasse, die Zusammenpressung durch Verengungen der Thäler, die Einwirkung der Gewässer, welche sich fortwährend an der Oberfläche durch Schmelzung bilden, alle diese mannigfachen Einflüsse dienen dazu, die zusammenhängenden Gletscher zu zerbrechen, und ihnen jene unebene, zackige, oft phantastische Oberfläche zu geben, welche man meistens im unteren Theile der Gletscher beobachtet. Durch die Klüfte sinkt tropfbarflüssiges Wasser fortwährend in die Tiefe hinab; es sammelt sich zu Gletscherbächen und löst, indem es die untersten Schichten der Gletscher zum Schmelzen bringt, immer mehr den Zusammenhang zwischen Gletscher und unterliegendem Gestein.

So gleiten die Gletscher tiefer und tiefer in die Thäler herab; zu ihren Seiten befinden sich zuletzt nicht nur grüne Matten, sondern bebaute, von Menschen bewohnte Gegenden; das untere Ende des unteren Grindelwaldgletschers liegt nur noch 3000 Fuße über dem Meeresspiegel. Aber mit dem Herabgleiten nimmt die Schmelzung des Gletschers zu; endlich erhält diese das unbedingte Uebergewicht, und der Gletscher gränzt sich mit einem scharfen Rande ab, unter welchem die Gletscherwasser

Digitized by Google

hervorströmen. Im selben Maaße, wie der Gletscher abwärts rückt, wie sein unteres Ende wegschmilzt, rücken oben neue Schnee- und Firnmassen nach. Gleich dem menschlichen Nagel zeigt auch der Gletscher eine ununterbrochene Abnahme am vordern Ende und ein ununterbrochenes Nachrücken neuer Masse von hinten, um den Verlust zu ersetzen. Jedes einzelne Theilchen eines Gletschers legt in einer bestimmten Zeit den Weg vom obern bis zum unteren Ende zurück; am Aargletscher z. B. braucht ein solches Theilchen nach Agassiz 133 Jahre zur Vollendung seines Weges. Daß diese Fortbewegung der Gletscher durch die Kraft der Schwere, durch das Gewicht der Gletschermasse selbst geschieht, ist von den Bewohnern der Alpenthäler längst geglaubt, aber erst in neuerer Zeit auch von den gelehrten Naturforschern anerkannt worden. Wie mächtig aber jenes Gewicht ist, ergibt sich aus den Berechnungen, welche am Eismeer des Chamounithales von Charpentier angestellt worden sind: bei 5400 Fuß Breite üben je 100 Fuß Länge jenes Gletschers den ungeheuern Druck von 6½ Millionen Centnern auf alle Hindernisse gegen die Fortbewegung aus. Die Dicke des Eismeeres wird im Durchschnitte wenigstens zu 200 Fuß geschätzt; nach Agassiz sind die oberen Theile der größeren Alpengletscher wenigstens 1000 Fuß dick; die Länge der größeren Gletscher beträgt mehrere Meilen.

An einer und derselben Stelle reichen die Gletscher nicht immer gleich weit aus der Region des ewigen Schnees in vegetationsreiche Thäler herab. Vor allem schmilzt ihr Fuß stärker während der warmen Monate des Jahres; aber auch in wärmeren Jahrgängen weichen die Gletscher durch das stärkere Schmelzen ihres unteren Randes weiter aus den tieferen Punkten der Thäler zurück. Im Allgemeinen rücken die Gletscher mit der Senkung der Schneelinie, also gegen die Pole hin, immer mehr zum Meeresspiegel herab; ihr Fuß taucht zuletzt im Meere unter. So verhalten sich die Gletscher Grönlands und überhaupt der nördlichen und südlichen Polargegenden der Erde; so verhält sich

Digitized by Google

in Europa ein einziger Gletscher, in Norwegen unter 67° n. Br. Aber nicht blos da, wo die Schneelinie sehr tief, in der Nähe des Erdbodens liegt, reichen die Gletscher bis zur Meeresfläche; sondern an der Westküste von Patagonien kommen solche Gletscher sogar schon unter 46° 40′ s. Br. vor. Zu dieser scheinbaren Anomalie wirken verschiedene Umstände zusammen. Der kalte, vom Südpol kommende Meeresstrom, welcher die Westküste Südamerika's berührt, erniedrigt an dieser Küste überhaupt die Temperatur; er bewirkt aber insbesondere kühle Sommer. In der Nähe jener Küste erheben sich hohe, schneebedeckte Gipfel; Gletscher ziehen sich von ihnen, wie im Alpengebirge, in die Thäler herab; es fehlt aber die hohe Sommerwärme, welche den unteren Rand der schweizer Gletscher wegschmilzt; und so kommt es, daß die Gletschermassen, ohne sich ganz vertheilt zu haben, mit ihrem Fuß noch in tiefere Gegenden, bis zu dem nahen Meere herab reichen. Wo der Fuß der Gletscher ins Meer taucht, da reißen sich ihre unteren Theile mit dem Nachrücken neuer Massen von Zeit zu Zeit los, und werden vom Meere als jene Eisberge fortgeführt, welche in den Polarmeeren und auch weiter herab, namentlich an den Küsten Neufundlands und Labradors, so häufig angetroffen werden.

Wir verglichen die Bewegungen der Gletscher mit dem Herabgleiten fester Gebirgsschichten auf einer beweglichen Unterlage; diese festen Eismassen haben aber außerdem eine wichtige Eigenthümlichkeit mit den tropfbarflüssigen Gewässern der Erde gemeinschaftlich: sie dienen, wie diese, zum Fortschaffen von Trümmern der Gebirgsgesteine. Von den steilen Abdachungen der Hochgebirge stürzen Gesteinstrümmer in größeren oder kleineren Massen auf die Oberfläche der Gletscher herab, und werden von diesen in die Thäler hinabgetragen. An den Rändern der Gletscher, und zwar theils an ihrem seitlichen, theils besonders an ihrem unteren Rande, schmilzt das Gletschereis und setzt die herabgeführten Trümmer ab. In deutlichen Reihen ziehen sich diese Absätze an den Seiten und am Fusse der Gletscher hin,

Digitized by Google

und bezeichnen die Gränze, bis zu welcher der Gletscher überhaupt je vorgedrungen ist. Sie bestehen aus Sand und aus größeren oder kleineren Felsblöcken. Man hat ihnen den Namen Moränen gegeben. Die Gesteine der Moränen unterscheiden sich in ihrer äußern Gestalt wesentlich von den Geschieben der Bäche, Flüsse und Meere; jene sind scharfkantig, diese durch die Bewegungen des tropfbarflüssigen Wassers allseitig gerundet. Nur auf ihre Unterlage üben die Gletscher eine Wirkung aus, welche die abrundende Kraft des Wassers noch weit übertrifft; sie verwischen nicht nur die Kanten der unterliegenden Gesteine, sondern sie glätten ihre ganze obere Fläche, und die scharfkantigen Trümmer, welche von den tiefsten Schichten der Gletscher fortgeführt werden, drücken in die härtesten Unterlagen bei ihrer Fortbewegung deutliche Rinnen und Furchen ein. Was hier im Allgemeinen von den Gletschern gesagt ist, gilt auch von jenen Eisbergen, welche sich am Fuße der polaren, bis zum Meere reichenden Gletscher losreißen. Auf ihrer Oberfläche liegen größere und kleinere Gesteinstrümmer, welche sie unverändert bis in jene Breiten tragen, wo die Eisberge unter dem Einflusse höherer Temperaturen schmelzen; hier sinken die Trümmer auf den Grund des Meeres hinab.

Die Wichtigkeit der Gletscher ist nicht blos nach ihrem Auftreten in der jetzigen Ordnung der Dinge zu bemessen. Wenn sie jetzt eine merkwürdige Form der wäßrigen Hülle des Erdkörpers bilden, so war ihre Verbreitung in den früheren Perioden der Erdbildung viel bedeutender, als sie sich jetzt darstellt. Es wird der Gegenstand späterer Erörterungen sein, den Zusammenhang der vorgeschichtlichen Gletscher mit der früheren Vertheilung von Festland und Wasser und mit dem früheren Klima der Erde nachzuweisen.

In der Schilderung der Bewegungen, welche in der Atmosphäre, in der tropfbarflüssigen Hülle und in der festen Rinde der Erde vor sich gehen, wurde mit dem Luftkreise und seinen Strömungen begonnen. Es war die Wärme, welche, von der

Digitized by Google

Sonne ausgehend, das specifische Gewicht der Luftschichten änderte und an der einen Stelle ein Aufsteigen, an der andern ein Niedersinken der Luft hervorbrachte; durch die Strömung der Atmosphäre wurde weiterhin eine Strömung der Meere erregt. Dann folgten jene Bewegungen der Gewässer und der beweglichen Gesteine, welche unmittelbar aus der Schwerkraft, die vom Erdmittelpunkte aus wirkt, zu erklären sind. Aber es ist noch eine Bewegung der festen Erdrinde zu erwähnen, an welcher weder die Luft noch die Gewässer der Erde, weder die Schwere noch die Sonnenwärme einen direkten Antheil haben. Wir meinen jene Hebungen und Senkungen, die man theils langsam theils rasch, aus inneren Ursachen in der festen Kruste der Erde erfolgen sieht.

Wo Erdbeben in der Kruste des Erdkörpers beobachtet worden sind, gingen sie immer von Einem Punkte aus, und setzten sich von diesem theils in Einer linearen Richtung, theils stahlenförmig nach allen Seiten hin fort. Wie ein Stein, welcher in stehendes Wasser geworfen wird, Wellen erregt, die sich überallhin verbreiten (S. 54), so geht eine Wellenbewegung der festen Erdkruste vom Mittelpunkte des Erdbebens aus. Senkrecht auf die Linie, nach welcher sich die Erschütterung fortpflanzt, schwingen die Schichten der Erdrinde bald auf- bald abwärts. Je mehr man sich vom Ursprunge entfernt, desto geringer wird die Weite der Schwingungen; aber auch schon im Mittelpunkte der Bewegung können die Wellen der Erdkruste höher oder niederer gehen. Das eine Mal beschränkt sich die Erschütterung auf ein leichtes Erzittern des Bodens; in anderen Fällen, z. B. in Calabrien, wogte der Erdboden so stark, daß Bäume mit ihren Kronen vorübergehend die Erde berührten, daß sie beim Niederbeugen sich mit ihren Aesten verwickelten, und das Fortschreiten der Erschütterungswelle im Walde durch das Krachen der brechenden Aeste deutlich bezeichnet wurde. Wie die Gegenstände, welche auf Wasserwellen schwimmen, auf- und niedersteigen, hin und her gleiten, so

Digitized by Google

erleiden Gebäude, Bäume, und andere feste, auf der Erdoberfläche befindliche Körper eine mannigfaltige Veränderung ihrer Lage. Leichte Erdbeben werden nur als schwacher Stoß gefühlt; weiterhin klirren die Fenster, Geräthschaften rücken vom Platze oder werden umgestürzt; feste Mauern bekommen Risse; und in den höchsten Graden wurden blühende Städte, wie Catania, Caracas, Lissabon, durch einen Stoß, der wenige Sekunden dauerte, plötzlich in Trümmerhaufen verwandelt.

Die Wellen des Erdbebens schreiten mit großer Schnelligkeit weiter; sie legen in der Minute fünf bis sieben geographische Meilen zurück. Ihre Ausbreitung ist bisweilen sehr gering; aber in andern Fällen erstrecken sie sich über Räume von ungeheurer Größe. So wurde das Erdbeben, welches 1822 die Küste von Chili erschütterte, in Einer Richtung 260 Meilen weit gespürt. So bewegte das lissaboner Erdbeben des Jahres 1755 nicht nur die ganze pyrenäische Halbinsel, sondern auch die Schweiz, Oberitalien, Frankreich, Deutschland, die Südspitze Skandinaviens, Großbritannien und Irland, Marokko, einen Theil der vereinigten Staaten und die kleinen Antillen; der Erschütterungskreis dieses Erdbebens umfaßte einen Raum, welcher ganz Europa viermal an Größe übertraf. So dehnte sich das Erdbeben, welches Valdivia in Chili 1839 betraf, über einen Flächenraum von 100 Längegraden und 40 Breitegraden aus. Bei dieser Verbreitung kehren sich die Wellen des Erdbebens im Allgemeinen weder an die Formen des Festlandes, noch an das Dazwischentreten von Meeresbecken. Auch der Meeresboden wird erschüttert, und die Wellenbewegung des festen Grundes erzeugt mächtige Meereswogen; aus dem Erdbeben folgt ein Meeresbeben. Diese Unabhängigkeit von der Gestalt der festen Erdrinde zeigt sich insbesondere bei den centralen, von Einem Mittelpunkte ausstrahlenden Erdbeben. Wenn die Erschütterung sich lineär fortpflanzt, so überspringt sie selten größere Gebirgsketten, sondern folgt gewöhnlich den Zügen der Gebirge und ebendamit den Küsten der Meere oder den Ufern

Digitized by Google

größerer Flüsse; so schritten die Erdbeben Chili's und Peru's längs der Andenkette fort. Im Einzelnen freilich übt die Beschaffenheit oder die Lage der einzelnen Gebirgsarten auf das Erscheinen und die Größe der Erschütterung nicht selten einen auffallenden, öfters unerklärten Einfluß aus; die Peruaner haben mit dem Ausdrucke „Brücken“ solche obere Schichten der Erdrinde bezeichnet, welche in der Mitte starker Erschütterungen unbewegt bleiben.

Die große räumliche Ausdehnung, die kolossale Entwicklung einzelner Erdbeben deuten schon auf eine tiefe, weitgreifende Ursache derselben hin; und aus dieser erklärt sich auch die große Häufigkeit der Erdbeben. Erschütterungen, durch welche große Städte umgestürzt, Tausende von Menschen getödtet werden, gehören freilich nicht zu den alltäglichen Ereignissen. Aber die große Zahl der schwachen Erderschütterungen hat A. v. Humboldt zu dem Ausspruche veranlaßt: „man würde sich, wenn man Nachricht von dem täglichen Zustande der gesammten Erdoberfläche haben könnte, sehr wahrscheinlich davon überzeugen, daß fast immerdar, an irgend einem Punkte diese Oberfläche erbebt.“ Also nicht nur der Luftkreis der Erde befindet sich in ununterbrochener Strömung; nicht nur die süßen und gesalzenen Gewässer sind niemals in völliger Ruhe; sondern auch die feste Rinde des Erdkörpers schwankt in jedem Augenblicke wenigstens an Einem Punkte ihrer Ausdehnung. Dieses Schwanken des Erdbodens haben allerdings einzelne Gegenden in besonders hohem Grade erfahren; so Lissabon, als es 1755 durch Erdstöße völlig zerstört wurde; so Sicilien, auf welchem im Jahre 1693 durch Ein Erdbeben 50 Ortschaften zerstört und 60,000 Menschen getödtet wurden; so Chili, welches in diesem Jahrhundert mehrere schwere Erderschütterungen erlitten hat; so der östliche Abhang der Alpenkette des Mont-Cenis, welcher vom April 1808 an fast zu jeder Stunde Monate lang von Erschütterungen heimgesucht worden ist. Aber kein Punkt der Erdrinde ist vor Erschütterungen gesichert, und

Digitized by Google

es ist eine Täuschung, wenn wir den Boden, auf welchem wir leben und unsere Häuser bauen, für einen ganz festen und zuverlässigen halten.

Wenn nun die Ursache der Erdbeben eine allgemeine ist, welche an jedem Punkte der Erdrinde erschütternd einwirken kann, wenn sie eine sehr kräftige ist, deren Effekte über große Abschnitte der Erdoberfläche sich von Einem Mittelpunkte aus verbreiten, so muß zunächst die Frage nach der Natur jener Ursache aufgeworfen werden. Es erhellt aus allen Thatsachen, daß die Erdrinde nicht durch einen äußeren Einfluß bewegt wird, etwa ähnlich der Anziehung von Sonne und Mond, welche Fluth und Ebbe hervorruft; sondern Alles weist darauf hin, daß die Ursache der Erdbeben von der Tiefe aus wirkt. Wenn ein Stein in Wasser fällt, so erregt er Wellenbewegungen durch den Druck, welchen er auf ein Wassertheilchen von oben nach unten ausübt; der erste Anstoß der Erderschütterung hingegen drängt einen Theil der Erdrinde plötzlich von unten in die Höhe. Durch diesen Stoß werden oft bewegliche Gegenstände emporgeschleudert; so warf das Erdbeben, welches 1797 die Stadt Riobamba zerstörte, die Leichname vieler Einwohner auf einen nahen, mehrere hundert Fuß hohen Hügel. Auf die Erhebung folgt ein Niedersinken, und von diesem Ursprunge aus pflanzt sich das Auf- und Abwogen der Erdrinde nach den Gesetzen der Wellenbewegung, undulatorisch fort.

Aber nicht immer kehren die Schichten der Erdrinde nach ihrer Emporhebung oder Senkung wieder in ihre vorherige Lage zurück; sondern nicht selten behalten sie die Hebung oder Senkung bei, welche ihnen das Erdbeben ertheilt hatte; der starren Rinde der Erde fehlt jene leichte Verschiebbarkeit der Theilchen, die nach jeder Wellenbewegung die Fläche der stehenden Gewässer wieder glättet. Viele solche Veränderungen der Erdoberfläche entgehen, wenn sie nach kleinerem Maaßstabe und entfernt vom Meere erfolgen, unserer Aufmerksamkeit; denn in der Mitte des Festlandes ist es schwer zu bestimmen, ob ein

Digitized by Google

Landstrich um 50—100 Fuße sich gesenkt oder gehoben hat. Aber an den Küsten des Meeres gibt der Meeresspiegel selbst den besten Anhalt für die Beurtheilung. Wo man keinen Grund hat, an eine Senkung oder Verminderung des Meeres zu denken, da wird jedes Emporsteigen der Küste als eine Hebung des Festlandes zu betrachten sein; und um so mehr, je weniger das Emporsteigen an allen Punkten der Küste gleichmäßig erfolgt. Umgekehrt wird, wenn an keine Vermehrung der Wassermasse gedacht werden kann, jedes Steigen des Meeres als eine Senkung der Küste gelten müssen.

Der Jorullo, einer der mexikanischen Vulkane, hat vor dem Jahre 1759 gar nicht existirt. Im September dieses Jahres öffnete sich die Erde nach dreimonatlichen Erschütterungen, und ergoß nach allen Seiten Ströme von Lava, welche bei ihrer Erstarrung eine Erhöhung des Landes um 480 Fuße bildeten. Aus diesem Lavaplateau stieg erst der Jorullo empor und erhob sich 1550 Fuß über die umliegende Ebene. Seit dieser Erhebung besteht er als vulkanischer Kegel in unveränderter Weise fort. Großartiger und ausgedehnter sind die Erhebungen, welche fast die ganze Küste von Chili zu wiederholten Malen durch Erdbeben erlitten hat. 1822 erhob sich die Küste auf weite Strecken, vielleicht auf 4700 Quadratmeilen um ungefähr 4 Fuße; 1835 stieg sie noch einmal um 4 bis 5 Fuße empor, sank aber nach einiger Zeit wieder um 2 bis 3 Fuße zurück; eine neue Hebung scheint durch das Erdbeben von Valdivia im Jahre 1837 stattgefunden zu haben; und alles spricht dafür, daß schon frühere Erdbeben, z. B. das von 1751, eine deutliche Hebung der chilenischen Küste hervorgebracht haben. Man berechnet, daß im Laufe der Jahrtausende, seit die jetzige Ordnung der Dinge besteht, die Küsten von Peru und Chili um 400 bis 500, ja an einzelnen Stellen bis zu 1500 Fuß emporgehoben worden sind. Alte Strandlinien, Ablagerungen von Muscheln, Sand und Gerölle zeigen noch jetzt in verschiedenen Höhen das frühere Verhalten der

Digitized by Google

Küsten. Diesen ausgedehnten Hebungen stehen Senkungen des Festlandes von etwas geringerer Mächtigkeit gegenüber. So versanken durch die Erdbeben der Jahre 1811 und 1812 größere Landstriche des Mississippithales, so daß See'n von 3—4 Meilen Durchmesser in wenigen Stunden entstanden; so wurde im Jahre 1819 ein Theil des Indusdelta's, 94 Quadratmeilen groß, durch ein Erdbeben versenkt und vom Meere überfluthet.

Alle diese Hebungen und Senkungen sind nicht ganz allmählig, sondern ruckweise erfolgt. Wenn sie langsam zunahmen, so geschah dieses immer in mehreren Absätzen und mit öfteren Ruhepunkten. Erdbeben begleiteten immer die Veränderungen der Gestalt des Festlandes. Aber an diese Phänomene schließen sich nothwendig andere an, welche ohne Erdbeben und in viel größeren Zeiträumen, viel langsamer erfolgen, jene Hebungen und Senkungen, die man als sekuläre bezeichnet hat. Gewiß ist es dieselbe Kraft, welche das eine Mal ruckweise und mit ausgedehnten Erschütterungen, das andre Mal unmerklich und geräuschlos die Erdschichten aus ihrer horizontalen Lage heraus aufrichtet oder senkt.

Skandinavien dient für die sekuläre Hebung als der unzweifelhafteste und ausgedehnteste Beweis. Die ganze östliche Küste Schwedens, von Tornea bis Kalmar, ist in den letzten Jahrtausenden langsam über den Meeresspiegel emporgestiegen. Lyell schätzt die Größe der Erhebung im Mittel auf 3 Fuße in Einem Jahrhundert; 2000 Jahre müssen wenigstens verflossen sein, seit das Emporsteigen der schwedischen Küste begonnen hat. Aehnlich verhält es sich mit dem gegenüberliegenden Finnland; und es kann kein Zweifel sein, daß der Spiegel des bottnischen Meerbusens durch das Steigen seiner Küsten in fortwährendem Sinken begriffen ist. Auch Norwegen ist, wahrscheinlich in mehreren Absätzen bis zu 500 Fußen, und zwar theils in geschichtlicher, theils in vorgeschichtlicher Zeit emporgehoben worden. Aehnliches gilt von dem nördlichen Rußland, von Jütland, Bornholm, von den Küsten Frankreichs

Digitized by Google

und Großbritanniens. Auch fernere Welttheile, Neuholland, Vandiemensland, bieten für seculäre Hebungen sichere Beispiele dar; von Südamerika hingegen ist es wahrscheinlich gemacht, daß nicht blos Chili und Peru durch Erdbeben gehoben wurden, sondern daß die ganze Südspitze, vom La Plata bis zum Feuerlande, langsam und in mehreren Absätzen bis zu 300 Fußen und darüber emporgestiegen ist.

Schwieriger sind die seculären Senkungen des Festlandes zu beobachten und zu messen; denn sobald Küsten unter den Meeresspiegel versinken, entziehen sie sich dem forschenden Auge. Doch unterliegt die Südspitze Schwedens unzweifelhaft einer fortwährenden Senkung; das jetzige Straßenpflaster der Städte Malmoe und Trelleborg wird bei hoher See überschwemmt, und mehrere Fuß tief unter dem jetzigen Pflaster trifft man die Spuren eines älteren. Ebenso sinkt Grönland zwischen dem 60. und 69. Breitegrade; dasselbe wird von Dalmatien behauptet. Im großartigsten Maaße aber gehen die sekulären Senkungen in der Südsee vor sich, wenn Lyell's Gedanke richtig ist, daß die Höhe aller Koralleninseln fortwährend abnimmt, daß hier der Meeresgrund einst höher gelegen war und jetzt in fortdauerndem Sinken begriffen ist.

Die Kraft, welche die Erdrinde in jene Wellenbewegungen versetzt, die man als Erdbeben bezeichnet, erzeugt also nicht blos beschränkte, vorübergehende Veränderungen in der Lage der festen Erdschichten; sondern auf weite Strecken und mit dauerndem Erfolge faltet sie die Kruste der Erde; sie hebt das Festland an der einen Stelle empor und versenkt es an der andern unter den Spiegel des Meeres; sie erhöht die Continente und vertieft den Meeresgrund. Aber die feste Erdkruste ist nicht elastisch genug, um diese Biegungen ihrer Schichten ohne eine Lösung des Zusammenhanges überall zu ertragen. Bei den Erdbeben und bei den sekulären Hebungen oder Senkungen reißt die Erdkruste bald da bald dort ein, und ihre Oeffnungen gewähren einen tieferen Blick in jene unterirdischen

Digitized by Google

Vorgänge, welche Erschütterungen, Hebungen und Senkungen der Erdrinde theils veranlassen, theils begleiten. Es sind besonders die verschiedenen, aus den Spalten der Erdrinde ausgestoßenen Substanzen, welche das Verständniß jener Processe befördern. Die Oeffnungen aber, aus welchen diese Substanzen ausströmen, bezeichnet man im Allgemeinen als Vulkane.

Wenn man die Mündungen der thätigen Vulkane in den Zwischenräumen der Ausbrüche beobachtet, so erhebt sich aus ihnen fortwährend eine hohe Rauchsäule. Diese besteht wesentlich aus Wasserdämpfen und kann wohl mit jenem Rauche verglichen werden, welchen unsere Schornsteine ausstoßen. Die Menge des Wassers, das auf diese Weise in Dampfform aus den Kratern entweicht, ist so bedeutend, daß es an einigen wasserarmen Orten zur Gewinnung tropfbarflüssigen Wassers benützt werden konnte. Die übrigen Gase, welche sich dem dampfförmigen Wasser beimischen, sind der Menge nach so unbedeutend, daß sie vorerst ganz außer Acht gelassen werden können; die Betrachtung der chemischen Processe, die an der Erdoberfläche vor sich gehen, wird noch einmal zu ihnen zurückführen. Wenn aber die Thätigkeit der Vulkane wächst, so beschränkt sie sich nicht auf ruhige, gasförmige Ausströmungen. Die Spannung, die bewegende Kraft der Dämpfe nimmt zu, und aus dem Schlunde des Kraters werden, wie von einer explodirenden Mine, größere und kleinere Gesteinstrümmer herausgeschleudert. Bald sind es nur einzelne, kleinere Schlacken, welche in der Nähe des Kraters wieder niederfallen, bald kolossale Auswürflinge, deren Durchmesser bis zu 10 Fußen steigt, und welche bisweilen bis zu 6000 Fuß Höhe emporgeschleudert werden; bald erhebt sich ein feiner Staub, die sogenannte vulkanische Asche, in ungeheuren Massen aus der Kratermündung; wie die Krone eines Baumes erweitert sich die Aschensäule über dem Vulkane, verdunkelt das Licht der Sonne und fällt als Aschenregen auf ausgedehnte Landstriche, auf Tausende von Quadratmeilen verheerend nieder. Endlich

Digitized by Google

steigen auch geschmolzene Gesteine, Laven bis zur Krateröffnung empor; sie fließen als feurigflüssige Ströme an den Seiten des Vulkanes herab, oder werden theilweise von der Gewalt der Dämpfe in die Luft emporgerissen, und fallen von hier, erstarrt, als Schlacken wieder herab.

Was die festen Auswürflinge, was die Laven emporhebt, ist nichts als die Kraft der gespannten, rasch sich ausdehnenden Dämpfe. Aber der ganze Ausbruch eines Vulkanes, die Beschaffenheit und Wirkung aller zum Vorschein kommenden Substanzen weist auf eine Wärmequelle hin, welche in der Tiefe der Erdrinde ihren Sitz hat. Das gasförmige Wasser, das vorzüglichste Werkzeug der vulkanischen Ausbrüche, ist ohne Zweifel in tropfbarflüssiger Form von der Erdoberfläche aus durch die Klüfte der Gesteine in die Tiefe gesunken; hier hat es durch hohe Wärmegrade seine Gasform und die hohe Spannung seiner Dämpfe erhalten. Die Lava mag zum Theile noch nie fest gewesen sein; aber zum Theil verdankt sie ihren Ursprung gewiß festen Gesteinen, die durch Berührung mit den erhitzten Wasserdämpfen geschmolzen worden sind. Wir brauchen blos auf die Thatsachen zurückzuweisen, durch welche früher (S. 231) der feurigflüssige Zustand des Erdkernes wahrscheinlich gemacht wurde. Aus der hohen Temperatur dieses Erdkernes erklärt sich einfach die Gesammtheit der vulkanischen Erscheinungen, die Gasform des Wassers, die tropfbarflüssige Form der Lava, die große bewegende Kraft der Wasserdämpfe. Und dieser flüssige Erdkern ist es, von welchem auch der Anstoß zu den Erdbeben, zu den Hebungen und Senkungen der Erdoberfläche ausgeht. Diese Hindeutung mag indeß für jetzt genügen, um die Ursache der Bewegungen der Erdrinde zu bezeichnen; im Zusammenhange können alle diese Erscheinungen erst bei der Entwicklungsgeschichte der Erde abgehandelt werden; denn es ist dieselbe Ursache, welche einst die Festländer gehoben und den Meeresgrund vertieft hat, und welche jetzt noch die Erdrinde erschüttert und zerreißt, aufsteigen und sinken läßt.

Digitized by Google

Wenn die Luftströmungen die Gegensätze der Lufttemperatur vermitteln, wenn die Bewegungen der Gewässer die Höhen der Continente abnützen und die Tiefen der Meere ausfüllen, wenn also die beweglichen Hüllen des Erdkörpers ununterbrochen danach streben, an der Erdoberfläche das Schroffe, scharf Entgegengesetzte auszugleichen, so wirkt im Innern des Erdkörpers noch immer jene Ursache fort, welche die Erdrinde hebt und senkt, welche der Oberfläche der festen Kruste neue, entschiedene Formen aufprägt. Diese Ursache ist schwächer geworden, als sie im Anfange war; aber sie ringt doch immer noch danach, der Erdrinde den schärfsten, individuellsten Ausdruck zu geben. Es wird die Aufgabe eines folgenden Kapitels sein, die ununterbrochene Wechselwirkung zwischen diesem individualisirenden Principe des Erdkörpers und dem verallgemeinernden, vermittelnden Einflusse der beweglichen Hüllen vom Anfange der Erde bis zu der jetzigen Ordnung der Dinge darzustellen.

Noch Eins bleibt jetzt übrig, um das Bild der Bewegungen, welche an der Erdoberfläche vor sich gehen, vollständig zu machen. Wir haben gleich anfangs (S. 270) die tropfbarflüssige Hülle als das vermittelnde Glied zwischen der festen Erdrinde und der elastisch-flüssigen Atmosphäre bezeichnet. In der That ist es das Wasser, welches sowohl Stoffe als Eigenschaften, besonders höhere und niedere Temperaturen von der Atmosphäre dem Erdkörper und aus der Tiefe der Erdrinde dem Luftkreise zuführt. Ueberall steigen von der Oberfläche der Gewässer Wasserdämpfe in die Atmosphäre empor und fallen als Regen, Hagel, Schnee wieder herab. Ueberall dringen Wasseradern durch Klüfte und feine Spalten der Erdrinde in die Tiefe hinab und kommen als Quellen wieder an die Oberfläche hervor. Wie die Gewässer auf diesen Wegen chemisch einwirken, soll das folgende Kapitel auseinandersetzen; aber hier muß von ihrem Einfluß auf die Wärmeverhältnisse Einiges gesagt werden.

Bei den Gegensätzen des Binnen- und Küstenklima's ist

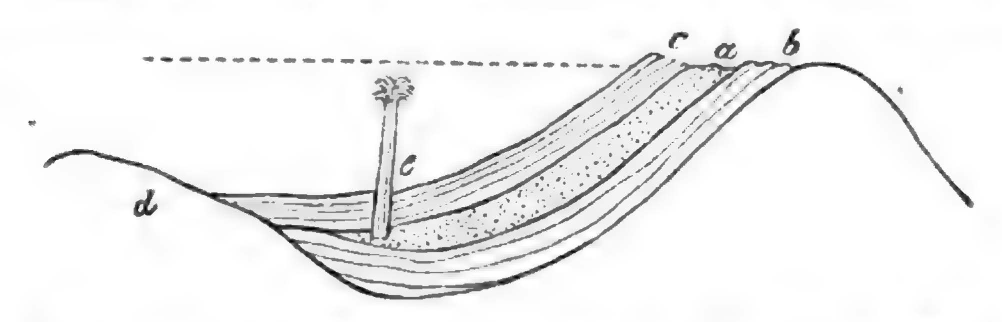
Digitized by Google

es schon zur Sprache gekommen, in wiefern die Wolken dazu beitragen, die extremen Temperaturgrade einer Gegend auszugleichen. Bei bedecktem Himmel wird sowohl die Einwirkung der Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche, als die Wärmestrahlung des Erdbodens gegen den freien Himmelsraum vermindert, es werden daher zugleich die höchsten Grade der Erwärmung und der Erkaltung der tiefsten Luftschichten ausgeschlossen. Daher fehlen kalte Winter und warme Sommer überall, wo die Atmosphäre reich an Feuchtigkeit und geneigt zur Wolkenbildung ist; vor Allem über den Meeren der Erde, dann auf Inseln und Küstenstrichen, endlich in denjenigen, vom Meere entfernteren Gegenden, welche Seewinden besonders ausgesetzt sind, so in Westeuropa gegenüber von dem Osten dieses Welttheiles. Weiterhin dienen die atmosphärischen Niederschläge dazu, die höhere oder niedrigere Temperatur der oberen Luftschichten den tieferen Luftschichten und der Erdoberfläche mitzutheilen. Wie die Regen bald zur Erhöhung bald zur Erniedrigung der Temperatur beitragen, ist Jedermann bekannt.

Viel wichtiger sind die Beobachtungen, welche man über die Wärmeverhältnisse der Quellen angestellt hat. Es kann gar kein Zweifel sein, daß alle Quellen ihren Ursprung solchem Wasser verdanken, welches vorher von der Erdoberfläche aus in die Erdrinde eingedrungen ist. So werden die Erdschichten, welche das Bett eines Flusses begränzen, mit Flußwasser getränkt, sobald sie überhaupt von Wasser durchdrungen werden können, und insbesondere, wenn sie aus Sand oder Geröllen bestehen. Wo man in solchen Erdschichten bohrt, erhält man Wasser; den Schacht, in welchem es zum Vorschein kommt, heißt man einen Senkbrunnen. In anderen Fällen legt das Wasser, ehe es wieder zum Vorschein kommt, einen längeren oder kürzeren Weg in der festen Erdrinde zurück; seine Spalten oder weitere Klüfte sind es, welche das Wasser aufnehmen und weiterführen. Hier finden die einfachsten Verhältnisse statt, wenn die Gewässer an höheren Stellen niedersinken und durch

Digitized by Google

tiefer liegende Oeffnungen als Quellen zum Vorschein kommen; diese verdanken dann ihre Entstehung theils versinkenden Bächen und Flüssen, theils hochgelegenen See'n, theils den Eis- und Gletschermassen der Hochgebirge, theils den meteorischen Wassern, dem Regen und Schnee, welche sich auf Gebirgen in größerer Menge, als in Thälern, niederschlagen. Der Ursprung der Quellen liegt in diesem Falle immer dort, wo ein wasserdichtes Gestein, z. B. eine Schichte von Thon, die Gewässer an weiterem Versinken hindert. Indeß legen viele Quellen vor ihrem Zutagekommen keinen so kurzen und einfachen Weg zurück; sie steigen erst, nachdem sie zu größeren oder geringeren Tiefen der Erdrinde hinabgesunken sind, in künstlichen oder natürlichen Klüften wieder zur Erdoberfläche empor; diese Gruppe umfaßt die artesischen Brunnen und die natürlichen aufsteigenden Quellen.



Wenn die Gebirgsschichte b, welche das tiefere Versinken der Gewässer durch ihre Dichtigkeit hindert, nicht wagrecht, sondern nach Einer Seite geneigt ist, so fließen die Gewässer auf ihr in Einer Richtung weiter; sie werden in der wasserhaltigen, zerklüfteten Schichte a noch besser zusammengehalten, wenn auf der letzteren wieder wasserdichtes Gestein c aufliegt. Nicht selten findet sich nun die wasserhaltige Schichte an ihrem unteren Ende durch aufsteigende Gebirgsrücken d oder durch die nächsten Gesteinschichten c und b so eingeschlossen, daß dem Wasser der Klüfte kein freier Abfluß bleibt; es sammelt sich am unteren Ende und erleidet von den höheren Gewässern einen bald stärkeren bald schwächeren Druck. Ist nun das Gebirg an dieser Stelle von der Oberfläche her durch eine Spalte e unterbrochen, oder wird ein Bohrloch von oben bis

Digitized by Google

auf die wasserhaltige, rings eingeschlossene Schichte hinabgestoßen, so tritt hier jener Fall ein, von welchem schon früher (S. 51) gesprochen wurde: das Wasser befindet sich in zwei, oben offenen und unten communicirenden Röhren, und es erhebt sich in der Spalte oder dem Bohrloche zu derselben Höhe, welche das obere Ende der wasserhaltigen Schichte einnimmt. Reicht diese Schichte höher hinauf als Spalte oder Bohrloch, so fließen die Gewässer als eine aufsteigende Quelle aus jenen Mündungen aus, oder springen sogar noch höher in einem Strahle empor.

Von allen diesen Quellen sind es natürlich die aufsteigenden, welche die beste Kunde aus den tieferen Schichten der Erdrinde bringen. Was besonders die Temperatur betrifft, so richten sich die Quellen allerdings im Allgemeinen nach der mittleren Wärme des Bodens, durch welchen sie zuletzt fließen. Aber wenn ihre Eigenwärme sehr von der Wärme der obersten Erdschichten abweicht, so wird diese Abweichung bei der geringen Wärmeleitungsfähigkeit der Erdkruste während ihres Aufenthaltes in jenen obersten Schichten wenig vermindert, und es läßt sich aus der Temperatur der Quellen wohl abnehmen, von welchen Theilen der Erdkruste sie herkommen. Am meisten richten sich die Senkbrunnen nach der Temperatur der umgebenden Erdschichten und der darüber befindlichen Atmosphäre. Dagegen zeichnen sich die Quellen, welche von Gletschern oder großen Schneemassen der Hochgebirge herrühren, durch eine Temperatur aus, welche den Gefrierpunkt nur um wenige Grade übersteigt. Auch die Gebirgsquellen, die sich aus den meteorischen Niederschlägen der Bergeshöhen bilden, kommen in den Thälern mit einer niedrigern Temperatur zum Vorschein, welche der geringeren Wärme der höheren Luftschichten entspricht. So finden sich in der Nähe von Rom, wo die mittlere Lufttemperatur $12\frac{1}{2}°$ beträgt, Quellen von $9\frac{1}{2}°$ Wärme; ihr Ursprung muß auf den Höhen der Apenninen gesucht werden. So gewähren die Gebirgsquellen den Bewohnern der tropischen

Digitized by Google

Gegenden eine Erquickung, die sie von den gewöhnlichen Brunnen nicht erhalten. Den aufsteigenden Quellen hingegen kommt durchaus eine Temperatur zu, welche die mittlere Luftwärme des Ortes deutlich übersteigt, und von den Temperaturwechseln der Luft und des Bodens sehr wenig verändert wird.

Die früheren Erörterungen (S. 230) haben gezeigt, daß in einer Tiefe von 60—80 Fußen die Erdkruste aufhört, an den täglichen oder jährlichen Schwankungen der Lufttemperatur theilzunehmen, und daß in größeren Tiefen die Temperatur der Erdrinde ungefähr um 1° auf 100 Fuß Tiefe zunimmt. An dieser Temperaturzunahme betheiligen sich auch die Gewässer, welche aus der Tiefe der Erdrinde hervordringen, und es ist auffallend, wie sehr die Wärmezunahme der Gewässer mit der des Bodens übereinstimmt. Nach vergleichenden Beobachtungen, welche an Bohrlöchern angestellt wurden, nimmt die Temperatur des Wassers ungefähr auf 100 Fuß Tiefe gleichfalls um 1° zu; die Salzsoole des Bohrloches von Neusalzwerk zeigte bei 600 Fuß Tiefe des Bohrloches 15½°, bei 1000 Fuß 19°, bei 2160 Fuß 33° Wärme. Die geringsten Grade der Wärmezunahme werden im gewöhnlichen Leben nicht beachtet, und man heißt daher Thermen gemeiniglich nur solche Quellen, deren Temperatur um ein Bedeutendes die mittlere Luftwärme eines Ortes übersteigt. Eigentlich verdienen aber jenen Namen alle Quellen, die um wenig oder viel über die mittlere Wärme der Luft hinausgehen. Solche Thermen kommen überall an der Erdoberfläche, ja im Allgemeinen sogar häufiger als die kalten Quellen vor; man findet sie auf dem Meeresgrunde, wie bis zu 12,300 Fuß Höhe über dem Meere. Unter sie gehört ebensogut die Quelle von Enontekis in Lappland, welche bei —3⅗° Lufttemperatur 1$\frac{1}{10}$° Wärme zeigt, als die anerkannt warmen Wasser von Wildbad mit 37°, von Gastein mit 47° und die heißen Quellen von Wiesbaden mit 70° und von Burtscheid mit 77°. Aus den größten Tiefen steigen aber diejenigen Wassermassen empor, welche in Dampfform aus den

Digitized by Google

Mündungen der Vulkane ausströmen; und an sie schließen sich zunächst jene heißen Quellen an, welche bei ihrem Ausflusse die Siedhitze des Wassers zeigen. An solchen heißen Quellen ist Island besonders reich, und unter ihnen verdienen die intermittirenden Quellen des großen Geysers und des Strokkrs wegen ihrer Großartigkeit eine namentliche Erwähnung.

Die Temperaturen, welche die Gewässer aus den Höhen des Luftkreises oder aus den Tiefen der Erdrinde mit sich bringen, üben auf die allgemeine, mittlere Wärme eines Ortes nur einen sehr untergeordneten Einfluß aus. Ueberhaupt muß aber von Allem, was die niederfallenden oder aufsteigenden Gewässer mit sich führen, die höhere oder niedere Temperatur als der kleinste und unbedeutendste Antheil betrachtet werden. Die Temperatur jener Gewässer dient mehr nur dazu, ihren Ursprung, ihre Herkunft anzudeuten, und ein Licht über die mächtigen chemischen Processe zu verbreiten, welche die Gewässer auf ihren weitverzweigten Bahnen anregen und unterhalten.

Die Wasserdünste der Atmosphäre stehen aber noch in naher Beziehung mit einem andern Phänomene, mit der Elektricität der Luft. Wir haben erwähnt, daß die Kenntniß der elektrischen Erscheinungen, die an der Erde zum Vorschein kommen, noch nicht jene Sicherheit erreicht hat, durch welche die Lehre vom Erdmagnetismus sich auszeichnet. Der verschiedene Wassergehalt, die vielfachen Bewegungen der Atmosphäre erschweren die Beobachtungen sehr bedeutend.

Wenn man bei heiterem Himmel den elektrischen Zustand des Erdkörpers und der Atmosphäre untersucht, so zeigt sich der erstere negativ, die letztere positiv. Dieser Gegensatz zieht sich durch allen Wechsel der elektrischen Erscheinungen an der Erdoberfläche hindurch und scheint die bleibende Grundlage derselben zu bilden. Worin er seinen Grund hat, läßt sich noch nicht mit Sicherheit bestimmen; aber es darf als wahrscheinlich betrachtet werden, daß die Wärme bei jener Vertheilung der Elektricitäten die hauptsächlichste Rolle spiele. Je weiter man

Digitized by Google

nämlich in der Atmosphäre emporsteigt, desto mehr wächst die Intensität der positiven Electricität; in demselben Maaße nimmt aber auch die Wärme der Luftschichten ab; unter dem Aequator sinkt die Temperatur der Luft von der Erdoberfläche bis zu den äußersten Gränzen des Luftkreises von 27½° vielleicht bis 60° unter dem Gefrierpunkte. Ein solcher Gegensatz der Temperaturen ruft, wie früher gezeigt wurde (S. 134), in leitenden Körpern auch eine Vertheilung der Elektricität, einen elektrischen Strom hervor. Die positive Form der Elektricität bewegt sich hiebei von dem wärmeren zu dem kälteren, die negative von dem kälteren zum wärmeren Theile hinüber, und der Schluß des Vorganges ist der, daß die negative Elektricität sich in dem wärmeren, die positive in dem kälteren Theile anhäuft. Auf diese Weise würde auch der elektrische Gegensatz zwischen Erdkörper und Atmosphäre entstehen; von dem ersteren, als dem wärmeren Theile, ginge alle positive Elektricität in die kältere Atmosphäre hinüber, und er würde von dieser alle negative Elektricität erhalten; in der Atmosphäre selbst fiele die höchste Intensität der positiven Elektricität in den obersten Luftschichten mit der größten Kälte zusammen. Vielleicht steht die äußere Erdrinde in einem ähnlichen Gegensatz zu dem heißen Erdkerne; während jene sich zum Luftkreise negativ verhält, steht sie dem Erdkerne vielleicht als der kühlere, elektropositive Theil gegenüber.

Die negative Elektricität, welche dem Erdboden zukommt, geht auf alle leitenden Körper über, welche sich in Berührung mit der Erdoberfläche befinden. So zeigt z. B. der feine Wasserstaub, welcher sich von Wasserfällen erhebt, die negative Elektricität des Erdbodens. Vorzüglich aber führen die Wasserdämpfe, welche von allen Gewässern der Erde, im Sommer wie im Winter, aufsteigen, die negative Elektricität des Erdbodens in den Luftkreis mit sich. So kommt es, daß die Atmosphäre sich nicht immer elektropositiv verhält; bei trübem Wetter können vielmehr einzelne Luftschichten abwechselnd posi-

Digitized by Google

tive und negative Elektricität angeben. Insbesondere sammelt sich die negative Elektricität in solchen Wolken an, welche ihre Entstehung den von der Erde aufgestiegenen Wasserdämpfen verdanken. Umgekehrt theilt aber die positive Elektricität der Luft sich denjenigen Wasserdämpfen mit, welche sich längere Zeit in der Atmosphäre befinden; und wenn solche Dämpfe aus weiten Lufträumen sich zu Wolken sammeln, so häuft sich in diesen eine bedeutende Masse positiver Elektricität an. Jede Wolke kann als ein mit Elektricität geladener Conduktor (S. 120) angesehen werden; von den gewöhnlichen, metallischen Conduktoren unterscheidet sie sich aber dadurch, daß die Elektricität sich nicht blos an ihrer äußeren Oberfläche, sondern an der Oberfläche jedes der feinen, die Wolke zusammensetzenden Bläschen befindet, daß also die Wolke durch ihre ganze Masse hindurch elektrisirt ist. Eine solche elektrisirte Wolke verhält sich nun ganz wie ein anderer elektrisirter Conduktor. Negative Wolken werden von der negativen Erdoberfläche abgestoßen und erheben sich in die höchsten Luftschichten; positive erleiden nicht selten von den Gebirgen des negativen Erdbodens eine auffallende Anziehung. In Wolken, welche sich weder positiv noch negativ verhalten, bringt die Nähe einer elektrischen Wolke oder der negativen Erdoberfläche nicht selten eine elektrische Vertheilung (S. 121) und als Folge hievon eine elektrische Ladung hervor.

Wenn die elektrische Spannung einer Wolke bedeutend ist, wenn sie von feuchter, also leitender Luft umgeben wird, oder sich in atmosphärische Niederschläge auflöst, so kann die Elektricität der Wolke sich allmälig mit der entgegengesetzten Elektricität ihrer Umgebung ausgleichen. Eine solche allmählige Ausgleichung geschieht insbesondere zwischen positiven Wolken und dem Erdboden, und man bemerkt dann nicht selten ein schwaches elektrisches Leuchten an hervorragenden Gegenständen der Erdoberfläche, an den Köpfen oder Fingerspitzen der Menschen, vorzüglich aber auf hoher See an den Mastspitzen der

Digitized by Google

Schiffe (St. Elmsfeuer); oder ist es der Regen, Schnee oder Hagel selbst, welche, als Vehikel der Elektricität der Wolken, die elektrische Ausgleichung unter Entwicklung von schwachen elektrischen Funken vermitteln. Wo aber diese Umstände nicht eintreten, und namentlich in ausgedehnten, dichten und isolirten Wolken, dauert die elektrische Spannung so lange fort, bis eine plötzliche, gewaltsame Ausgleichung erfolgt. Die positive Elektricität der Wolken vereinigt sich mit der negativen des Erdbodens oder anderer Wolken auf eine tumultuarische Weise unter den Erscheinungen des Blitzes und des Donners. Der schwache Funken der leidener Flasche (S. 124) erweitert sich zu einem mächtigen, oft meilenlangen Strahle; aus dem schwachen Knistern jenes Phänomenes wird ein gewaltiges Geräusch, welches an den Bergen der Erde und an den Wolken selbst rollend wiederhallt. Ein leichter und gefahrloser Versuch der Physik wiederholt sich hier als eine der großartigsten Naturerscheinungen, welche nicht nur auf die menschlichen Sinne den größten Eindruck macht, sondern auch Gesteine schmilzt, feste Mauern zerreißt, Menschen und Thiere plötzlich tödtet.

Aus dieser Darstellung erhellt zur Genüge, welchen Schwankungen die atmosphärische Elektricität unter dem Einflusse der Wasserdämpfe des Luftkreises unterliegt. Die Luftfeuchtigkeit erklärt wohl auch am besten die quantitativen Unterschiede, welche man in der Luftelektricität bei hellem Himmel zu den verschiedenen Zeiten des Tages beobachtet. Vor Sonnenaufgang erreicht die Luftelektricität ihr Minimum; während der Nacht war aller Ueberschuß derselben durch die niederfallenden Dünste dem Erdboden zugeführt worden. Mit dem Aufgang der Sonne steigen die Dünste wieder in die Höhe; die positive Elektricität sammelt sich wieder in der Luft an, und die Instrumente zeigen das Maximum einige Stunden nach Sonnenaufgang. Aber mit der zunehmenden Wärme wird die Luft in der Nähe des Erdbodens trockener; sie verliert die Fähigkeit, Elektricität zu leiten, und trotz der fortdauernden Anhäu-

Digitized by Google

fung von Elektricität geben die elektrischen Instrumente doch eine Abnahme derselben an. Das zweite Minimum tritt daher einige Stunden vor Sonnenuntergang ein. Während nun die Sonne sich dem Horizonte nähert, wird die Luft kühler und feuchter, und führt jetzt den angesammelten Ueberschuß von Luftelektricität reichlich der Erde zu; dadurch entsteht wenige Stunden nach Sonnenuntergang das zweite Maximum. Von diesem Punkte bis zum ersten Minimum nimmt die Elektricität wieder ganz allmählig ab.

Während die Lehre vom Erdmagnetismus ihre wesentliche Grundlage in dem Erdkörper hat, beschränkt sich fast Alles, was wir von elektrischen Processen in dem Erdganzen wissen, auf den elektrischen Gegensatz zwischen Körper und Atmosphäre und auf die elektrischen Vorgänge im Luftkreise der Erde. In dem Erdkörper selbst dürften elektrische Ströme nur in beschränkter und vorübergehender Weise, unter dem Einflusse chemischer Trennungen und Verbindungen erfolgen.

An die elektrischen Erscheinungen unserer Atmosphäre scheint sich eines der prachtvollsten Phänomene unseres Luftkreises, das Polarlicht, aufs engste anzuschließen; es tritt als Nordlicht und als Südlicht auf. Wir können nur eine kurze Schilderung dieses Lichtes geben. Aus einem düsteren Nebel, welcher in der Richtung des magnetischen Poles sich lagert, und welchen ein lichterer Saum umgibt, schießen farbige Lichtstrahlen nach allen Seiten und bis zum Scheitel des Himmelsgewölbes empor. Sie bleiben einige Zeit in wallender Bewegung; dann aber werden sie ruhiger und sammeln sich zur Krone des Polarlichtes, zu dem eigentlichen Gipfel der Erscheinung; ist dieser erreicht, so nimmt das Licht wieder ab und verschwindet allmählig; nicht selten bleiben vom Ganzen nur zarte, weiße Wölkchen zurück. Daß dieses Licht in unserer Atmosphäre entsteht, kann kaum bezweifelt werden; es ist gegenüber dem Sonnenlichte das eigene, ungeborgte Licht, welches die Erde, so gut als jeder andere Körper, aus sich zu erzeugen

Digitized by Google

vermag. Dieses atmosphärische Leuchten scheint in der Nähe der Pole an keinem Tage zu fehlen; es wird gewöhnlich nur bei Nacht beobachtet; aber manche Angaben sprechen dafür, daß es auch bisweilen eintritt, so lang die Sonne hoch über dem Horizonte steht. In den mittleren Breiten können natürlich die Polarlichter nur dann beobachtet werden, wenn sie eine große Ausdehnung erreichen; dieß scheint im Winter entschieden häufiger stattzufinden, als im Sommer.

Die Lage der Polarlichter in der Richtung der magnetischen Pole der Erde läßt einen Zusammenhang zwischen jenen Phänomenen und dem Erdmagnetismus mit Bestimmtheit vermuthen. Dazu kommt, daß Deklination, Inklination und Intensität des Erdmagnetismus durch die Polarlichter vorübergehend geändert wird. Findet nun eine Beziehung zwischen der magnetischen Kraft der Erde und dem Phänomene des Polarlichtes in Wirklichkeit statt, so ist damit freilich noch keineswegs ausgemacht, welcher Art jene Beziehung sei. Das Zusammentreffen ungleichnamiger magnetischer Pole ruft für sich noch keine Lichtentwicklung hervor; überhaupt vermag die magnetische Kraft nur auf mittelbare Weise Licht zu erzeugen, wenn sie Elektricität in Bewegung setzt, und wenn die entgegengesetzten Formen der Elektricität sich unter Leuchten verbinden. Es liegt daher nahe, beim Polarlichte an einen elektromagnetischen Vorgang (S. 134) zu denken. In diesen Vorgang greifen jedenfalls auch die Wasserdämpfe der Atmosphäre ein; Wolkenstreifen, welche über dem magnetischen Pole des Erdkörpers zusammentreffen, welche also in der Richtung des magnetischen Meridianes sich ausdehnen, scheinen die Unterlage des Polarlichtes zu bilden. Wenn in diesen Streifen die entgegengesetzten Elektricitäten sich unter Lichtentwicklung vereinigen, so müßte die Richtung des elektrischen Stromes senkrecht sein sowohl auf die Wolkenstreifen als auf den magnetischen Meridian der Erde, d. h. auf die Linie, welche die magnetischen Pole verbindet (S. 134).

Digitized by Google

Diese Vermuthungen lassen sich aufstellen, ohne daß man von anerkannten Thatsachen sich zu weit entfernt. Auch darf hier Becquerel's Hypothese hinzugefügt werden, daß die Polarlichter ihren Ursprung dem elektrischen Gegensatze zwischen Erdkörper und Atmosphäre verdanken. Die positive Elektricität des Luftkreises würde sich mit der negativen der Erdrinde dort vereinigen, wo Atmosphäre und Erdkörper am kältesten, also in ihrer Temperatur am wenigsten von einander verschieden sind. Die Vereinigung geschähe an den Erdpolen unter Lichtentwicklung, und der Erdmagnetismus würde auf der einen Seite durch die elektrischen Ströme in seinen Aeußerungen etwas abgeändert werden, auf der anderen Seite den Weg der elektrischen Lichtstrahlen, wenigstens theilweise, bestimmen (S. 116). Wenn auf diese Weise das Polarlicht auf den elektrischen Gegensatz zwischen Erdkörper und Luftkreis zurückgeführt werden darf, so springt in die Augen, welche neue Bedeutung die Wärme für die irdischen Phänomene erhält. Von ihr geht wahrscheinlich die Luftelektricität aus; sie veranlaßt vielleicht mittelbar die Polarlichter, und sie steht mit den Erscheinungen des Erdmagnetismus jedenfalls in genauem Zusammenhange (S. 322.)

Wir haben gezeigt, wie aus den Tiefen der Erdrinde hervor eine Kraft thätig ist, welche die Oberflächengestalt der Erde verändert, welche Berge erhöht und Meere vertieft. Aus der Höhe der Gebirge und der Tiefe der Thäler entspringt an der Erdoberfläche zum Theil der Gegensatz der Temperaturen; zum Theil rührt dieser von der Lage der Gegenden in der Nähe der Pole oder des Aequators her. Aber Höhen und Tiefen werden durch die Gewalt der Gewässer theilweise verwischt, und die Ausgleichung der entgegengesetzten Temperaturen übernehmen theilweise die Strömungen des Luftkreises und der Meere. Zwischen Atmosphäre und Erdkörper bewegt sich überdieß als vermittelndes Glied, bald fest, bald tropfbarflüssig, bald gasförmig, das allgegenwärtige Wasser auf und nieder. Mit dem bleibenden Gegensatze von Pol und Aequator,

Digitized by Google

von Warm und Kalt, von Continent und Meer stehen die Erscheinungen des Erdmagnetismus in vielfacher Beziehung (S. 324). Wir haben soeben erwähnt, wie der elektrische Gegensatz von Luftkreis und Erdkörper sich vielleicht allein aus den Temperaturunterschieden beider erklärt. Aber die häufigen Veränderungen und Ausgleichungen der Luftelektricität geschehen durch das Auf- und Absteigen der Wasserdünste des Luftkreises, und das wechselnde Phänomen der Nord- und Südlichter erklärt sich vielleicht am besten aus der bald mehr bald weniger intensen Ausgleichung zwischen der positiven Elektricität der Luft und der negativen Elektricität des Erdkörpers; es ist vielleicht nichts Anderes, als ein einzelnes Glied in jenem großartigen Processe der Ausgleichung, welcher zwischen allen Gegensätzen der Erde ununterbrochen stattfindet.

Jetzt ist es Zeit, in diesem Kapitel auch die Organismen ins Auge zu fassen. Sie sind verschieden nach Höhe und Tiefe, nach der Nähe des Aequators oder der Pole, nach Wasser und Festland, endlich nach den hauptsächlichen Abtheilungen der Continente und der Meere. Die Erkenntniß dieser Vertheilung der Thiere und Pflanzen führt fast nothwendig zu der Annahme, daß jeder eigenthümlich gebildete Organismus, d. h. jede thierische oder pflanzliche Art, ursprünglich an demjenigen Punkte der Erdoberfläche, auf dem Festlande oder in Gewässern, erschaffen worden sei, welcher seiner besonderen Organisation am angemessensten war. Da nun bei Weitem die meisten thierischen oder pflanzlichen Arten in einer Zunahme ihrer Individuenzahl jetzt noch begriffen sind oder wenigstens zu geschichtlicher Zeit begriffen waren, so liegt ferner der Gedanke sehr nahe, daß jede Art ursprünglich aus wenigen Individuen bestanden und daß diese den Mittelpunkt des jetzigen Verbreitungsbezirkes der Art eingenommen haben. Mit der Vermehrung der Individuen breitete sich die Art weiter aus. Die Thiere bewegten sich mit Hilfe ihrer eigenen Glieder von dem einen Orte zum andern; die Pflanzen wurden durch äußere

Digitized by Google

Ursachen weiter geführt. Winde trugen leichte Samen über größere Strecken hin; andere Samen wurden durch Bäche und Flüsse in tiefere Gegenden hinabgeführt; Gebirgspflanzen siedelten sich in den unteren Gebieten der Gebirgsflüsse an. So erweiterte sich mehr und mehr der Kreis jeder einzelnen Art; die Verbreitungsbezirke berührten sich, griffen in einander über, und der Erdboden wurde, durch die Unterstützung der Winde und Gewässer, überall von Organismen bevölkert. Verschiedene Arten der Organismen waren ohne Zweifel gleich ursprünglich neben einander entstanden; aber die Verbreitung der Thiere und Pflanzen brachte eine noch größere Vermischung der Arten, eine größere Mannigfaltigkeit der thierischen und pflanzlichen Schöpfung hervor.

Man könnte denken, die Gelegenheiten zur Verbreitung der Thiere und Pflanzen durch Gewässer oder Winde seien so reichhaltig, daß nothwendig ein großer Theil der thierischen und pflanzlichen Arten über weite Strecken der Erdoberfläche sich ausbreiten und zuletzt zu wahrhaft kosmopolitischen Arten sich entwickeln mußte. Aber der innige Zusammenhang, in welchem Pflanzen und Thiere mit ihrem Stand- oder Wohnorte stehen, setzt ihrer Verbreitung sehr bestimmte Gränzen. Selten geht ein Organismus in dauernder Weise über seine Region oder Zone, über seinen Continent oder sein Meeresbecken hinaus. Zu solchen weiteren Wanderungen dienen vorzüglich die großartigen Meeres- und Luftströmungen. Fässer, welche durch das Scheitern der Schiffe in der Nähe der canarischen Inseln in die Macht der Aequatorialströmung des atlantischen Meeres gelangten, wurden von dieser bis zur mexikanischen Küste geführt, und kehrten von dort mit dem Golfstrom nach England zurück, wo sie an ihren Signaturen erkannt wurden. So sind wiederholt Stämme südamerikanischer und westindischer Bäume an die Küsten der Azoren und an die Westküste Europa's durch den zurückkehrenden Aequatorialstrom geführt worden, und auf ihnen gelangten Samen, Thiereier, kleine Pflanzen

Digitized by Google

und Thiere von der westlichen Hemisphäre zu uns herüber. Am Ende des 15. Jahrhunderts trug die Strömung sogar die Leichname von zwei Ureinwohnern Amerika's an die Küste der Azoren. In seltenen Fällen sind die Pflanzen oder Thiere noch lebensfähig, wenn sie an den Küsten entlegener Continente ankommen. Insbesondere gehen die Samen einzelner Pflanzen während ihres Aufenthaltes in der Meeresströmung nicht zu Grunde, und man hat seltene Beispiele, daß sie sich dann an den fernen Küsten angesiedelt haben; so kam die Kokospalme vielleicht durch die Aequatorialströmung von Afrika zu den westindischen Inseln hinüber, auf welchen sie jetzt in Menge gedeiht.

Die mächtigen Strömungen der Atmosphäre sind gleichfalls im Stande, leichte Organismen auf weite Strecken fortzuführen. Der ziegelfarbige Staub, welcher nicht selten im südlichen Europa mit Regen oder Schnee herabfällt, schließt nach Ehrenberg's Untersuchungen kleine Infusorien, kleine Pflanzen- und Insektentheile in sich, welche durch ihre Formen auf süße Gewässer und auf Continente, theilweise auch auf Meere als ihren Ursprung hinweisen; die meisten stimmen mit südamerikanischen, wenige mit afrikanischen Formen überein. Man muß annehmen, daß diese organischen Theile durch aufsteigende Luftströme in tropischen Gegenden emporgerissen und durch den rückkehrenden Passat in nördlichere Breiten geführt worden seien. Der Scirocco und der Föhn veranlassen besonders häufig das Niederfallen solcher Staubmeteore; und von ihnen ist es nachgewiesen, daß sie nicht, wie man früher glaubte, aus Afrika kommen, sondern den Sturmwirbeln Westindiens ihren Ursprung verdanken. Durch die westindischen Stürme wird also ein großer Theil jener organischen Formen in die höheren Luftschichten hinaufgeführt. Aber um das Phänomen der Staubniederschläge ganz zu erklären, ist es nothwendig, zwischen den Wendekreisen in den höchsten Schichten der Atmosphäre einen bleibenden, ununterbrochen schwebenden Staubnebel anzunehmen, welcher

Digitized by Google

von den aufsteigenden Luftströmen der heißen Zone emporgerissen und von den oberen Passaten nach Nord und Süd auf wechselnde Weise abgelenkt wird. Schnee und Regen führen diesen Staub wieder zur Erdoberfläche herab. Solche Niederschläge geschehen vorzüglich an der Westküste von Afrika und in Südeuropa; aber sie kommen außerdem auch im nördlichen Europa und in Asien bis Turkistan, Beludschistan und China vor. Bei den capverdischen Inseln fällt der meteorische Staub fast ununterbrochen nieder, wenn Nordostwind herrscht, und die Strecke, über welche der Niederschlag sich ausbreitet, steigt hier in der Breite bis zu 1800 Meilen. Das Gewicht eines einzigen Staubmeteors, welches zu Lyon 1840 fiel, betrug 7200 Centner. Ungeheure Staubmassen, mit organischen Theilen gemischt, schweben daher in den höhern Schichten des Luftkreises; sie tragen niedere Organismen, bisweilen lebend, von ihrem Wohnorte über ausgedehnte Strecken hin. Aber sicher beschränkt sich diese Fortbewegung organischer Körper nicht auf einzelne Schichten unserer Atmosphäre; vielmehr sprechen alle Thatsachen für die Annahme, daß leichte thierische und pflanzliche Keime überall in der Atmosphäre schweben. Das unerwartete Erscheinen von Infusorien und von Schimmelpflanzen erklärt sich am besten aus diesem Gehalte der Luft an mikroskopischen organischen Keimen. Die Atmosphäre erhebt sich auf diese Weise zu dem großartigsten Vehikel der niedersten, weitverbreiteten Pflanzen und Thiere.

Die Beziehungen der Organismen zu den Bewegungen der Gewässer und des Luftkreises sind indeß nicht durchaus von wohlthätiger Art. Durch heftige Stürme, durch hohe Meereswogen, durch Ueberschwemmungen süßer Gewässer werden häufig Thiere und Pflanzen vernichtet. Gegen solche gefahrdrohende Bewegungen bietet der Erdboden, als feste Unterlage der Organismen, den besten Schutz; umgekehrt aber tragen manche Organismen zur Befestigung des Bodens in auffallender und ausgedehnter Weise bei. Wo den Gesteinen der Erdrinde die

Digitized by Google

Pflanzendecke vollständig fehlt, da sind sie den Einflüssen der Gewässer und der Winde offen preisgegeben. An den Abhängen entwaldeter Gebirge reißen die meteorischen Wasser die fruchtbare Erde fort, entblößen und durchfurchen das unterliegende Gestein, und machen das Gedeihen von Organismen auf lange Zeit unmöglich. Der bewegliche Sand, welcher manche Gegenden der Erdoberfläche verwüstet, verliert den größten Theil seiner Gefahr, wenn es gelingt, ihm durch Bepflanzen mit passenden, starkwurzligen Gewächsen seine Beweglichkeit zu nehmen. Insbesondere sind es die Grasarten, welche als Rasendecke der Erdoberfläche in ihren kleineren Hervorragungen und Vertiefungen eine unerwartete Dauer geben. Die Erdhügel, welche in manchen Gegenden Europa's und vornehmlich in Amerika die Gräber der alten Einwohner bezeichnen, stehen, von Rasen bedeckt, noch jetzt, nach mehr als tausend Jahren fast in ihrer ursprünglichen Gestalt da. Jenes Lager, welches der Hunnenkönig Attila in der Champagne 451 anlegen ließ, zeigt in Folge der Rasendecke jetzt noch deutlich seine Gräben und Wälle. Wenn freilich der Erdboden, die Unterlage der Organismen, selbst ins Schwanken kommt, wenn unterirdische Kräfte die Erdrinde heben, senken und zerreißen, so erleidet das organische Leben die tiefsten Eingriffe; große Massen von Pflanzen und Thieren gehen durch Erdbeben und vulkanische Ausbrüche zu Grunde.

Hier wäre eigentlich der Ort, wo über die Beziehungen zwischen den organischen Geschöpfen und den verschiedenen Erscheinungsformen des Wassers gesprochen werden sollte. Es mag übrigens genügen, darauf hinzudeuten, wie die Feuchtigkeit und die Niederschläge der Atmosphäre für das Leben aller Organismen, besonders aber für das pflanzliche Leben von größter Wichtigkeit sind, und wie umgekehrt die Pflanzendecke des Erdbodens wesentlich dazu beiträgt, den Wassergehalt des Luftkreises durch wäßrige Ausdünstungen zu erhöhen. In den Bewegungen des Wassers durch Erdrinde und Atmosphäre greifen indeß physikalische und chemische Gesichtspunkte so viel-

Digitized by Google

fach ineinander, daß erst das nächste, chemische Kapitel den Ueberblick jener Bewegungen ergänzen kann; dort wird des Stoffwechsels der Pflanzen und Thiere und seines Zusammenhanges mit dem Wasser der Erde weiter gedacht werden.

Mitten unter den Gegensätzen, welche die verschiedenen Theile der Erde unterscheiden, steht das Reich des Organischen, in seinen Formen von jenen Gegensätzen bestimmt, nach Klimaten und Gegenden der Erde höchst mannigfaltig. Luftströmungen und Bewegungen der Gewässer, wie sie die Gegensätze der Erde auszugleichen streben, verbinden und vermengen auch die verschiedenartigen organischen Gestalten. Aber wo jene Gegensätze zu schroff werden, bei schwächstem Luftdruck oder stärkstem Drucke des Wassers, bei höchster und niederster Temperatur, da leidet und erlischt das organische Leben. Und wo die vermittelnden Strömungen der Lüfte und Gewässer sich zu Stürmen und überströmenden Wasserfluthen steigern, noch mehr wo die feste Erdrinde selbst erbebt, da gehen unter der Gewalt der Elemente die organischen Geschöpfe zu Grunde. Die Erde, wiewohl sie Organismen beherbergt, hat doch ihre eigene, von dem organischen Reiche abgekehrte Existenz; und in der vollkommensten Weise drückt sich diese in jenen polaren Erscheinungen aus, welche wir als Magnetismus und Elektricität an der Erde erkannt haben. Ohne Zweifel sind diese polaren Thätigkeiten der Erde nicht ohne Einfluß auf die organischen Geschöpfe; aber sie dienen dem organischen Leben nicht als Unterlage; sondern am meisten durch sie prägt sich das Wesen der Erde gegenüber dem organischen als ein eigenthümliches aus.

3) Die chemischen Processe, welche in der festen Rinde, in den Gewässern und in der Atmosphäre der Erde vor sich gehen.

Gegenüber von den physikalischen Gegensätzen und Vorgängen, welche Gegenstand der zwei letzten Kapitel gewesen sind, erscheinen die chemischen Processe auf den ersten Blick kleiner

Digitized by Google

und beschränkter. Dort rufen die Gegensätze großartige, ausgedehnte Bewegungen hervor; hier rückt die Bewegung nur langsam von Stelle zu Stelle fort, theils zersetzend, theils verbindend. Aber der Erfolg der chemischen Processe ist beinahe noch tiefer und umfassender, als der der physikalischen Vorgänge; er greift den Organismen wie der Erde recht ans innerste Leben (vergl. S. 164).

Seit die Erde überhaupt als besonderer Planet existirt, scheint es vorzüglich die Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Erdkörper gewesen zu sein, welche alle chemischen Processe an der Erde anregte und lebendig erhielt.

Die **Atmosphäre** ist keine einfache, unzerlegbare Substanz; sondern sie besteht aus zwei gasförmigen Grundstoffen, aus Sauerstoffgas und Stickgas. Diese beiden Elemente sind indeß nicht chemisch miteinander verbunden; sondern sie bilden nur ein Gasgemenge. Sie haben daher (S. 142) in der Atmosphäre von ihren ursprünglichen Eigenschaften nichts verloren und auch keine neuen erhalten; sondern Sauerstoff und Stickstoff verhalten sich in der Atmosphäre, wie im freien, ungemengten Zustande, als farblose und geruchlose Gase. Sowohl dem Gewichte als dem Rauminhalte nach enthält die atmosphärische Luft mehr Stickgas als Sauerstoffgas; und zwar kommen dem Rauminhalte nach auf 79 Theile Stickgas 21 Theile Sauerstoffgas, dem Gewichte nach 75 Theile von jenem auf 23 von diesem. Diese beiden Gase müssen als die normalen Bestandtheile der atmosphärischen Luft betrachtet werden; wo man im Freien, auf Bergen oder in Thälern, unter dem Aequator oder in der Nähe der Pole Luft untersucht hat, zeigte sich immer das angegebene Verhältniß von Stickgas und Sauerstoffgas. Aber es mischen sich diesen Gasen in untergeordneter Weise noch andere bei, vor allem gasförmiges Wasser, welches von den Wassermassen der Erdoberfläche verdunstet, und Kohlensäuregas (S. 156), welches überall da entsteht, wo reine Kohle oder kohlenstoffhaltige Substanzen mit dem Sauerstoff der Atmo-

Digitized by Google

sphäre Verbindungen eingehen, also bei Verbrennungen von Kohle und Holz, beim Verwesen der Pflanzen, beim Athmen der Thiere. Der Gehalt an Wassergas wechselt sehr bedeutend; aber von Kohlensäuregas enthält die freie Luft immer ziemlich gleiche Mengen, nämlich im Durchschnitt auf 10,000 Raumtheile atmospärischer Luft 4 Theile kohlensaures Gas. Dazu kommt noch ein sehr kleiner Antheil Ammoniak (S. 157), welches in der Luft an Kohlensäure oder Salpetersäure gebunden ist, und mit dem Regenwasser in kleinen, nicht näher zu bestimmenden Mengen auf die Erdoberfläche herabfällt.

Wo man die Atmosphäre untersuchen konnte, hat man bis jetzt immer die eben angeführten Bestandtheile in ihr gefunden; man ist daher berechtigt, sie als wesentliche anzunehmen. Von allen diesen Bestandtheilen ist nun der Stickstoff derjenige, welcher die geringste Neigung hat, mit anderen Stoffen Verbindungen einzugehen. Er zeichnet sich überhaupt vor allen übrigen Elementen durch die Schwierigkeiten aus, welche seiner direkten chemischen Vereinigung mit anderen Elementen im Wege stehen. Daher liegt die Vermuthung nahe, das Stickgas werde auch unter allen Bestandtheilen der Atmosphäre mit der geringsten Energie chemische Trennungen und Verbindungen an der Erdoberfläche anregen oder unterstützen. Es stellt vermöge seines Uebergewichtes gleichsam das neutrale Gas der Atmosphäre dar, welchem die anderen, wirksamern Gase beigemischt sind; doch beschränkt sich, wie später gezeigt werden soll, seine Bedeutung nicht auf eine solche reine chemische Neutralität. Dem Stickgas steht in Bezug auf seine Quantität das Sauerstoffgas am nächsten; aber was die Wirksamkeit betrifft, so stellt sich das Sauerstoffgas dem Stickgas gerade als das entgegengesetzte Extrem gegenüber. Unter allen Elementen erscheint es zugleich als das kräftigste und als das elektronegativste (S. 152). Kaum dürfte es an der Erdoberfläche einen chemischen Proceß geben, in welchen der Sauerstoff nicht als wesentliches Glied einginge.

Digitized by Google

Die Bestandtheile, welche jetzt noch übrig sind, stehen hinter dem Sauerstoff an Energie der Wirkung bedeutend zurück. Als der wichtigste von ihnen muß die Kohlensäure betrachtet werden. Ihre sauren Eigenschaften (S. 156) gehören zwar nicht zu den am meisten ausgeprägten; aber sie tritt doch in den chemischen Processen der Erde als eine entschiedene, langsam und tief wirkende Säure auf. Die Wirksamkeit des Ammoniaks beschränkt sich vielleicht ganz auf die organische und besonders pflanzliche Schöpfung. Hingegen behauptet das gasförmige Wasser der Atmosphäre eine verschiedenartige und ausgedehnte Bedeutung. Einmal geht es selbst, wenn es auf die Erdoberfläche herabfällt, mit mineralischen Substanzen chemische Verbindungen, die sogenannten Hydrate ein; und dann dient es allen Gasen der Atmosphäre als das Vehikel, durch welches sie zur Erdoberfläche und in die Spalten der Erdkruste gelangen. Wo Wasser in fester oder tropfbarflüssiger Form aus der Atmosphäre niederfällt, führt es Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und Ammoniak mit sich, und mit dem Wasser bringen diese Stoffe in die Gesteine und in die organischen Körper der Erde ein.

Sauerstoff und Kohlensäure sind also diejenigen Bestandtheile, durch welche die Atmosphäre vorzüglich in einen chemischen Gegensatz zum Erdkörper tritt. Jener wirkt oxydirend; diese strebt danach, sich mit Basen zu Sauerstoffsalzen zu verbinden (S. 156, 157). Beide werden aber begleitet vom Wasser, welches in die Klüfte der Gesteine eindringt und die mineralischen Stoffe den chemischen Processen aufschließt.

Was den Erdkörper und seine chemische Zusammensetzung betrifft, so muß die Schilderung desselben sich auf die feste Erdrinde beschränken; denn tiefer, als diese, sind unsere Beobachtungen nicht hinabgedrungen. Unter allen Stoffen, die an der Zusammensetzung der Erdrinde Theil nehmen, müssen als die eigenthümlichsten diejenigen erscheinen, welche weder in der tropfbarflüssigen noch in der gasförmigen Hülle der Erde

Digitized by Google

angetroffen werden. Die **Metalle**, ausgezeichnet durch Glanz und Undurchsichtigkeit, durch große Leitungsfähigkeit für Wärme und Elektricität, bilden die Grundlage und den charakteristischen Bestandtheil der festen Erdrinde. Die Hauptmasse der Gebirge wird von Verbindungen jener Metalle gebildet, welche man wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes als die leichten bezeichnet. Dahin gehören insbesondere Kalium, Natrium, Calcium, Magnium, Aluminium. Das letzte stellt mit Sauerstoff eine in Wasser unlösliche Basis, die Thonerde dar; die basischen Oxyde der vier ersten sind in Wasser löslich und daher alkalischer Natur (S. 157); sie heißen Kali, Natron, Kalkerde und Bittererde. Von den schweren Metallen nehmen die meisten, wie Mangan, Zink, Blei, Kupfer, Quecksilber, Silber, Gold, an der Zusammensetzung der Gebirge einen sehr untergeordneten Antheil. Nur das Eisen läßt sich in dieser Beziehung mit den leichten Metallen noch einigermaßen vergleichen. Es verbindet sich mit Sauerstoff in zwei Verhältnissen, mit weniger Sauerstoff zum Oxydul, mit mehr zum Oxyd; beide sind in Wasser unlöslich; aber in den chemischen Verbindungen entspricht das Oxyd mehr der Thonerde, das Oxydul mehr den obengenannten Alkalien.

Alle diese Salzbasen finden sich in den Gebirgen meist an Säuren gebunden. Die eigenthümlichste Säure des Erdkörpers ist die **Kieselsäure**. Sie stellt das farblose Oxyd eines nichtmetallischen Elementes, des Siliciums, dar; ihre sauren Eigenschaften stehen an Stärke hinter denen der meisten übrigen Säuren zurück. In der Natur tritt sie für sich, unverbunden mit Salzbasen, in der großen Familie des **Quarzes** auf; sie bildet dann bald Krystalle, welche bisweilen eine sehr bedeutende Größe und ein Gewicht von mehreren Centnern erreichen, bald gallertartige, als Opal bezeichnete Absätze. Ihr Verhalten zu Wasser ist unter verschiedenen Umständen sehr wechselnd. Kieselsäure kommt in kleinen Mengen fast in allen Gewässern der Erde gelöst vor; sie ist also in Wasser entschieden löslich. Wenn man eine solche Kieselsäurelösung abdampft, so bleibt

Digitized by Google

die Kieselsäure nach Verflüchtigung eines Theiles des lösenden Wassers als durchscheinende, steife Gallerte zurück; und diese kann wieder in Wasser gelöst werden. Entzieht man hingegen der Gallerte das Wasser, welches sie noch einschließt, so bleibt endlich, bei völliger Austrocknung nichts übrig, als ein weißes, in Wasser unlösliches Pulver, Kieselsäure, welche aus dem löslichen Zustande in den unlöslichen übergegangen ist. Alle Mineralien, in welchen Kieselsäure als feste Substanz in der Natur auftritt, gehören ihrer unlöslichen Form an; der Opal insbesondere ist nichts anderes, als eine ausgetrocknete, aus Wasser abgesetzte Kieselsäuregallerte.

Die Salze, welche die Kieselsäure mit Basen darstellt, die sogenannten Silikate, setzen zum größten Theile jene tiefen, krystallinischen Schichten der Erdkruste zusammen, welche man lange durch den Namen des Urgebirges ausgezeichnet hat; sie bilden die Hauptmasse des Granites und Gneißes, des Syenits und Dolerits. Kali, Natron, Kalkerde, Bittererde und Thonerde, daneben besonders Eisenoxydul und Eisenoxyd treten in jenen Gebirgsarten vorzüglich mit Kieselsäure zusammen. Die genannten Gebirgsarten bestehen indeß nicht durch ihre ganze Masse hindurch aus denselben Silikaten; sondern sie stellen immer ein Gemeng von mehreren kieselsauren Salzen dar. Hiebei ist nun insbesondere zu unterscheiden, ob die Kieselsäure in den einzelnen Silikaten nur mit Erden, oder nur mit Alkalien, oder zugleich mit Alkalien und Erden sich chemisch verbindet. Die kieselsauren Erden, zu welchen z. B. der Edelstein Hyacinth gehört, verdienen hier keine weitere Erwähnung. Aber diejenigen Silikate, welche theils blos Alkalien, theils zugleich Alkalien und Erden enthalten, sind für das Verständniß der chemischen Vorgänge, die in der Erdkruste geschehen, von höchster Bedeutung. Zu der ersteren Klasse von Silikaten gehören vorzüglich Augit und Hornblende, zwei schwarze, schwärzlichbraune oder schwärzlichgrüne Mineralien, von welchen jener den Doleriten und Basalten, diese den Syeniten und Dioriten

Digitized by Google

eigenthümlich ist; beide enthalten neben Kieselsäure Kalkerde und Bittererde, und nur selten tritt Thonerde untergeordnet in ihnen auf. Die zweite Klasse von Silikaten begreift besonders Glimmer und Feldspath in weiterem Sinne. Der erstere, neben Kieselsäure Thonerde, Kali und theilweise auch Bittererde enthaltend, zeichnet sich vor allen andern Mineralien durch sein eminent blättriges Gefüge aus. Der zweite steht unter allen kieselsauren Mineralien in chemischer und mineralogischer Beziehung unbedingt oben an; er fehlt in keiner von den wichtigeren kieselsäurehaltigen Gebirgsarten. Seine Basen sind außer Thonerde vorzüglich Kali, Natron und Kalkerde; und je nach dem Uebergewichte des einen oder andern dieser drei Alkalien wird der Feldspath in Orthoklas, Albit und Labrador unterschieden.

Mit diesen kieselsauren Mineralien vermengt sich der Quarz, d. h. die unverbundene, feste Kieselsäure zu den wichtigsten Gebirgsarten. So stellt Quarz mit Glimmer und Kalifeldspath den Granit und Gneiß dar. Hornblende und Natronfeldspath, bisweilen auch Quarz treten zum Syenit und Diorit zusammen. Die vulkanischen Gebilde, welche man als Dolerit und Basalt bezeichnet, enthalten wesentlich Augit und Kalkfeldspath. Endlich werden die Trachyte, welche, wie die Basalte, jetzt noch als Laven aus den Kratern der Vulkane ausfließen, überwiegend von Natronfeldspath und in untergeordneter Weise von Kalifeldspath und Hornblende gebildet. Die Lagerungsverhältnisse und die chemische Zusammensetzung lassen diese Gebirgsarten als dem Erdkörper eigenthümlich angehörige betrachten. Die Kieselsäure kommt nie als Bestandtheil der Atmosphäre oder der atmosphärischen Niederschläge vor. Gegenüber der gasförmigen Kohlensäure stellt sie die fixeste aller Säuren dar; sie ist für sich völlig feuerbeständig und läßt sich nur mit Wasserdämpfen verflüchtigen. Dazu kommt, daß die kieselsäurehaltigen Gebirgsarten, wenn sie auch die höchsten Spitzen der Gebirge, der Alpen, der Cordilleren

Digitized by Google

bilden, doch auf der andern Seite am tiefsten in die Erdkruste hinabreichen und überall die Unterlage der übrigen Gebirgsarten darstellen. Während die Alkalien und Erden an der Zusammensetzung aller, der höchsten und tiefsten Erdschichten Theil nehmen, so zeichnet die Kieselsäure wesentlich die innersten, von der Atmosphäre abgekehrten, dem Erdmittelpunkte nächstliegenden Theile der Erdkruste aus.

Auf dieser kieselsauren Unterlage ruhen Gebirgsarten, welche vielfältig die Kohlensäure zur überwiegenden Säure, die Kalkerde zur charakteristischen Salzbasis haben. Der Kalkstein, aus kohlensaurer Kalkerde gebildet, stellt, meist in dichter, unkrystallinischer Form, mächtige Schichten der Gebirge dar. Ihm schließt sich die kohlensaure Bittererde an; sie bildet, mit kohlensaurer Kalkerde verbunden, den Dolomit. Ferner treten mit Kalkerde in untergeordneter Weise theils Schwefelsäure, theils Phosphorsäure auf, jene im Gyps, diese im Apatit. Diejenigen Elemente endlich, welche dem Sauerstoff zwar in vieler Beziehung ähnlich sind, aber mit Wasserstoff sich zu Wasserstoffsäuren vereinigen (S. 157), vorzüglich das Chlor und das verwandte Fluor, gehen mit den Metallen der Alkalien Verbindungen ein, welche nach chemischer Beschaffenheit und mineralischem Vorkommen den Sauerstoffsalzen sich analog verhalten. So bildet das Chlor mit Natrium das wohlbekannte, aus dem Meere, aus Salzsoolen und aus Salzbergwerken gewonnene Kochsalz; Fluor bildet mit Calcium den schönen, in Würfeln krystallisirenden Flußspath. Aber alle diese Mineralien gruppiren sich doch um die kohlensaure Kalkerde als um ihren Mittelpunkt. Diese Gruppe wird von der Kohlensäure, wie die erste von der Kieselsäure beherrscht. Während demnach die Basen gemeinschaftlich sind, treten die Gebirgsarten der Erde in zwei Gruppen auseinander, je nachdem die Säure des Erdkörpers oder die Säure der Atmosphäre ihren Charakter ausmacht. Wir können diese zwei Abtheilungen nach älterem Brauche als Kiesel-

gruppe und Kalkgruppe unterscheiden. In welchem scharfen, umfassenden Gegensatze beide zu einander stehen, mag schon aus ihrer kurzen Charakteristik vermuthet werden; die Chemie der Erde wird durch diesen Gegensatz zum großen Theile bestimmt.

Zwischen der Atmosphäre und den Mineralien der festen Erdkruste beginnt ein chemischer Proceß überall dort, wo meteorische Niederschläge, Regen, Thau, Schnee oder Hagel, auf die Erdoberfläche herabfallen. Das Wasser dieser Niederschläge führt in kleinen Mengen alle Bestandtheile der Atmosphäre mit sich, und es sind vorzüglich das kohlensaure Gas und das Sauerstoffgas, welche bei der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Erdkruste eine große Rolle spielen; außerdem erhält aber auch das Wasser als auflösende und aufschließende Substanz eine besondere Bedeutung. Hiebei ist es zunächst gleichgültig, ob das meteorische Wasser sogleich nach seinem Niederfallen in die Erdkruste eindringt, oder vor dem Eindringen noch in Quellen, Bächen oder Flüssen weiter geführt wird; die Hauptsache bleibt immer, daß die Gebirgsarten geneigt sind, das Wasser, welches mit Bestandtheilen der Atmosphäre beladen ist, in ihr Inneres, in Klüfte und Spalten eindringen zu lassen. Die verschiedenen Gebirgsarten zeigen in dieser Beziehung große Verschiedenheiten. Was die größeren Spalten und Klüfte der Gesteine betrifft, so sind die Kalkgebirge, insbesondere der schweizer und deutsche Jura, durch ihre bedeutende Zerklüftung ausgezeichnet; alle Tagwasser sinken hier durch Spalten bis zur wasserdichten Unterlage des Kalkes hinab, und kommen daher erst am Fuße des Gebirges als Quellen zum Vorschein. Anders verhält es sich aber mit den feineren Spalten, welche auch die kleineren Abtheilungen der Gesteine oft unsichtbar durchziehen. Diese sind am seltensten bei gleichartigen Gesteinen; aber je mannigfaltiger die Gemengtheile einer Gebirgsart sind, desto poröser wird sie, und desto leichter findet das Wasser durch die Zwischenräume der zusam-

Digitized by Google

mensetzenden Mineralien Zutritt ins Innere. So kommt es, daß die krystallinischen, aus mehreren Silikaten zusammengesetzten Gesteine vorzüglich Wasser in ihr Inneres aufnehmen; Basaltsäulen, Trachytblöcke findet man nicht selten beim Zerschlagen im Innern feucht, sogar mit Wassertropfen besetzt. Von dieser Durchdringung mit Wasser ist kein Gestein der Erdkruste völlig ausgenommen; früher oder später findet das Wasser einen Weg ins Innere der Gebirgsarten. Mit dem Eindringen des Wassers aber beginnt ein chemischer Proceß, welcher, wenn er weiter fortgeschritten ist und die Gesteine chemisch und physikalisch deutlich verändert hat, als Verwitterung bezeichnet wird. An der Oberfläche der Erdrinde wird dieser Proceß durch den mechanischen Einfluß der Temperaturwechsel befördert; vorzüglich bewirkt das Wasser, wenn es in den Klüften mit Zunahme seines Volumens gefriert, gleich einem eingetriebenen Keile die Verlängerung und Erweiterung der Klüfte. Der Schluß des Verwitterungsprocesses ist, daß ein Theil der Gebirgsart verändert oder unverändert zurückbleibt, ein anderer Theil aber, meist in zersetztem Zustande, durch die Gewässer aufgelöst und weggeführt wird. Je nachdem die Gebirgsarten der Kalkgruppe oder der Kieselgruppe angehören, schlägt ihre Verwitterung einen verschiedenen Weg ein.

Von den Mineralien der Kalkgruppe, welche oben erwähnt wurden, lösen sich einige ohne weitere Veränderung in Wasser auf. Am leichtesten thut dieses das Kochsalz, welches in Salzsoolen von verschiedenem Gehalt an die Erdoberfläche hervor kommt. Auch der Gyps ist in 460 Theilen Wasser löslich. Aber kohlensaurer und phosphorsaurer Kalk, Dolomit und Flußspath lassen sich in reinem Wasser gar nicht oder kaum auflösen; Wasser hingegen, das freie Kohlensäure enthält, also Regen- oder Schneewasser löst kleinere Mengen jener Salze mit Leichtigkeit auf. So genügt das atmosphärische Wasser, theils an sich, theils vermöge seines Gehaltes an Kohlensäure, vollständig, um alle verbreiteteren Mineralien

Digitized by Google

der Kalkgruppe aufzulösen; es führt ihre Bestandtheile meist ohne weitere Veränderung weiter.

Aber anders verhält es sich mit den kieselsauren Gesteinen; hier muß der Auflösung eine Zersetzung vorangehen, und diese wird wesentlich durch Kohlensäure bewirkt. Das Gestein wird dadurch zersetzbar, daß es dem Wasser Zutritt gestattet; dieses dringt entweder blos mechanisch in die feinen Spalten des Gesteines ein, oder bildet mit einzelnen Bestandtheilen desselben chemische Verbindungen. Nach dieser Aufschließung des Gesteines fängt die Kohlensäure an, die Silikate der Alkalien, des Kali's und Natrons, der Kalkerde und Bittererde, dann auch das Silikat des Eisenoxyduls zu zersetzen (S. 150); sie scheidet die Kieselsäure aus und bildet mit jenen Basen statt Silikaten kohlensaure Salze. Die kohlensauren Verbindungen von Kali und Natron sind an sich leicht in Wasser löslich und gehen daher sogleich nach ihrer Bildung in die vorüberziehenden Gewässer über. Aber kohlensaure Kalkerde und Bittererde lösen sich nur in kohlensäurehaltigem Wasser auf, und gleich ihnen verhält sich das kohlensaure Eisenoxydul; wo daher das Wasser noch überschüssige Kohlensäure enthält, nimmt es Kalkerde, Bittererde und Eisenoxydul, mit Kohlensäure verbunden, in sich auf. So gelangen kohlensaure Salze nicht blos aus kohlensauren, sondern auch aus kieselsauren Gebirgsarten in die Gewässer. Aber außerdem geht auch die Kieselsäure, welche aus den Silikaten ausgeschieden wird, in das Wasser über; sie bildet in diesem Silikate von Alkalien mit einem bedeutenden Ueberschusse der Säure, welcher diese Silikate leicht löslich macht. Wenn ein solcher Zersetzungsproceß lang und nachhaltig fortdauert, so kann von einem Mineral, das gleich Augit und Hornblende nur aus kieselsauren Alkalien besteht, der größte Theil zerlegt und weggeführt werden. Aber von denjenigen Mineralien, welche außer kieselsauren Alkalien auch kieselsaure Thonerde enthalten, von Feldspath und Glimmer, bleibt der letztere Antheil ungelöst

Digitized by Google

zurück. Reine kieselsaure Thonerde, mit Wasser verbunden, stellt die reine, weiße Porcellanerde, das Kaolin dar; sie muß fast immer als ein Zersetzungsprodukt des Feldspathes, und namentlich des Kalifeldspathes angesehen werden.

Die Zersetzung durch Wasser und Kohlensäure ist indeß nicht die einzige Veränderung, welche die kieselsauren Gesteine von den eindringenden meteorischen Wassern erleiden. Diese führen außer Kohlensäure auch etwas atmosphärische Luft und in dieser vorzüglich Sauerstoffgas mit sich. Wo nun dieses Gas mit Eisenoxydulsalzen zusammentrifft, strebt der Sauerstoff danach, mit dem Eisenoxydul sich zu verbinden und eine höhere Oxydationsstufe, das Eisenoxyd zu bilden. Insbesondere bildet sich Eisenoxyd aus demjenigen Oxydul, welches in Gewässern mit Kohlensäure verbunden vorkommt. Da das Eisenoxyd mit Kohlensäure keine Verbindung eingeht, so fällt es, mit Wasser chemisch verbunden, als ein bräunlichgelber Niederschlag zu Boden. Dieses Eisenoxydhydrat stellt als selbständiges Mineral den Brauneisenstein dar; aber es kommt außerdem sehr häufig als färbender Bestandtheil von Gesteinen vor; insbesondere färbt es jene weitverbreiteten, bräunlichen Thone, welche als Zersetzungsprodukte und Residuen feldspathartiger Mineralien angesehen werden müssen. Die weite Verbreitung dieser gelbbräunlichen Gesteinsfärbung, welche immer auf Eisenoxydhydrat hinweist, läßt mehr als irgend etwas Anderes vermuthen, wie gewöhnlich das Vorkommen des Eisens sowohl in den Gesteinen als in den Gewässern der Erdoberfläche sein muß.

Die zersetzenden Substanzen, deren Einfluß auf die Gesteine bisher untersucht wurde, kommen alle von oben herab, aus der Atmosphäre. Aber andere zersetzende Stoffe nehmen ihren Ursprung von unten, aus den tieferen Spalten der Erdrinde. Dahin gehört vor Allem wieder Kohlensäure. An vielen Orten der Erde entwickelt sich aus Spalten kohlensaures Gas, Pflanzen, Thieren und Menschen gefährlich; insbesondere entweicht es aus den Kratern oder den seitlichen

Spalten der Vulkane während oder unmittelbar nach Eruptionen. Sieht man von denjenigen Fällen ab, wo Kohlensäure durch Fäulniß organischer Substanzen in der obersten Erdkruste, oder in tieferen Schichten durch Bildung von Steinkohlen entsteht, und wo dem kohlensauren Gase immer noch andere Luftarten als Verunreinigungen beigemischt sind, so bleibt für die reinen Kohlensäureausströmungen kein anderer Ursprung übrig, als die untersten Tiefen der festen Erdrinde, welche vorzüglich bei den vulkanischen Ausbrüchen in offene Verbindung mit der Erdoberfläche treten. Für die Laven, die Wasserdämpfe und die Kohlensäure jener Eruptionen muß ein gleicher Heerd der Bildung angenommen werden. Vielleicht ist es die hohe Temperatur jener tiefsten Theile der Erdkruste, welche dort den kohlensauren Kalk auf gleiche Weise, wie es die Hitze unserer Kalkbrennereien thut, zerlegt, und die Kohlensäure frei entweichen läßt. Ein großer Theil dieser Kohlensäure mischt sich den Gewässern bei, welche sich in den Spalten der Gesteine befinden, und steigert entweder die Zersetzung der Mineralien, oder kommt in Form von kohlensäurereichen Quellen an die Erdoberfläche.

Dem kohlensauren Gase steht das Schwefelwasser-stoffgas (S. 157) am nächsten. Es strömt aus den Kratern der Vulkane nächst Wasserdampf am häufigsten aus; die sogenannten Solfataren entwickeln gar nichts, als Wasser und Schwefelwasserstoff im gasförmigen Zustande. Außerdem kommt Schwefelwasserstoffgas insbesondere als Bestandtheil der Schwefelquellen vor. Sein Ursprung ist oberflächlicher, als der des von unten kommenden kohlensauren Gases; es entsteht ohne Zweifel durch Zersetzung von Schwefelmetallen der höheren Erdschichten. Wenn dieses Gas mit dem Sauerstoff der Atmosphäre in Berührung kommt, so erleidet es verschiedene Zersetzungen. Entweder bildet der Sauerstoff nur mit dem Wasserstoff des Schwefels Wasser, und der Schwefel scheidet sich im reinen Zustande aus; reiner Schwefel ist daher ein sehr häu-

Digitized by Google

figes Produkt der Vulkane, so in Sicilien und auf den liparischen Inseln; oder oxydirt sich auch der Schwefel, und alles schwefligsaure Gas, welches aus den Kratern der Vulkane ausströmt, hat diesen Ursprung. Tritt aber zu der schwefligen Säure noch mehr Sauerstoff, so entsteht Schwefelsäure, und diese erscheint in vulkanischen Gegenden öfters als ein sehr energisches Zersetzungsmittel der Gesteine. Sie scheidet z. B. aus feldspathartigen Mineralien die Kieselsäure aus, und bildet mit den alkalischen Basen und der Thonerde der Feldspäthe den Alaunstein, aus welchem, z. B. im Kirchenstaate, Alaun gewonnen wird. Gegenüber von dem Einflusse der Kohlensäure ist die zersetzende Wirkung der Schwefelsäure zwar viel energischer, aber weit mehr an einzelne Lokalitäten gebunden.

So stellt die Kohlensäure das hauptsächlichste Zersetzungsmittel der Gesteine dar. Sie mag aus der Atmosphäre oder aus den Tiefen der Erdrinde kommen, immer wirkt sie im Vereine mit dem Wasser, welches die Klüfte und Spalten der Gebirge ausfüllt und durchströmt. Sie bringt ihre Erfolge nicht rasch, wie energische Säuren, hervor; sondern in langen Zeiträumen erreicht sie dasselbe, was z. B. die Schwefelsäure nach kurzer Zeit zu Stande bringt. Sie muß als eines der einleuchtendsten Beispiele von jenen kleinen Mitteln gelten, durch welche im Haushalte der Natur die großartigsten Effekte hervorgebracht werden. Während die süßen und gesalzenen Gewässer auf mechanische Weise die Oberfläche der festen Erdkruste zertrümmern (S. 342), wird durch die zersetzende und auflösende Kraft des kohlensäurehaltigen Wassers die Erdrinde bis zu bedeutenden Tiefen hinab verändert und aufgelockert. An einzelnen Orten, besonders in Kalkgebirgen und großen Gypslagern, entstehen durch die auflösende Wirkung der Gewässer weite Höhlungen. An der Oberfläche aber bereitet die chemische Zersetzung der Gesteine ihre mechanische Zertrümmerung vor; freistehende Felsen werden allmählig durch die Einwirkung der atmosphärischen Niederschläge zerfressen, und ihre

Trümmer stürzen in die Thäler hinab, wo Bäche oder Flüsse sie aufnehmen und weiterführen.

Die nächste Folge von den chemischen Zersetzungen der Gebirgsarten ist die Beimischung von gelösten Substanzen zu dem reinen Wasser der Quellen. Es gibt keine Quelle der Erdoberfläche, welche nicht solche Substanzen, wenigstens in sehr geringer Menge, enthielte. Sobald aber eine oder mehrere dieser Substanzen so sehr überwiegen, daß sie die Charaktere und besonders den Geschmack der Quelle wesentlich abändern, so entstehen die sogenannten Mineralwasser. Vor Allem ist es die Kohlensäure, welche keiner Quelle fehlt, aber in manchen Wassern so reichlich enthalten ist, daß sie beim Ursprung der Quelle, wo der Druck der umgebenden Gesteine aufhört, theilweise als freies Gas unter Aufbrausen entweicht. Wenn solche Quellen keinen andern Bestandtheil in auffallender Menge enthalten, so werden sie wegen des starken Gehaltes an Kohlensäure als Sauerwasser bezeichnet; die Quelle von Selters dient hiefür als eines der ältesten und bekanntesten Beispiele. Ihnen entsprechen die Schwefelquellen, welche ihren üblen Geruch dem starken Gehalt an Schwefelwasserstoff verdanken; Aachen ist wegen dieses Gehaltes längst berühmt. Durch überschüssige Kohlensäure löst sich in Wasser theils kohlensaure Kalk- und Bittererde, theils kohlensaures Eisenorydul auf; aber nur das letztere Salz gibt, wenn es vorherrscht, der Quelle einen besonderen Werth; es entstehen dadurch die Eisen- oder Stahlwasser, ausgezeichnet durch ihren tintenartigen Geschmack und den leichten Absatz von Eisenorydhydrat; Pyrmont gehört unter ihnen zu den ausgezeichnetsten. Weiter sind es die Salze des Kali's und Natron's, welche sich ohne Weiteres, ohne Dazwischenkunft der Kohlensäure, in Wasser gelöst finden; Natron herrscht in ihnen bedeutend vor. Die salinischen Mineralwasser enthalten vorzüglich kohlensaures und schwefelsaures Natron; sie kommen aus krystallinischen Gebirgen, welche insbesondere Natronsilikate ein-

Digitized by Google

schließen, und ihre hauptsächlichen Fundorte sind die böhmischen Bäder. Endlich müssen die Kochsalzwasser und Salzsoolen erwähnt werden, welche sich durch überwiegenden Gehalt an Chlorverbindungen, insbesondere an Chlornatrium auszeichnen.

Das geheimnißvolle Dunkel, welches lange Zeit den Ursprung der Mineralwasser umgeben hatte, besteht jetzt nicht mehr. Ihre Zusammensetzung erklärt sich aus der ihnen beigemischten Kohlensäure und aus der Auslaugung jener Gebirgsarten, durch deren Spalten sie geflossen waren; ihre Temperatur aber muß einfach von jenen Erdschichten hergeleitet werden, aus welchen die Quellen entweder herabgeflossen oder aufgestiegen sind. Das einzige Band, das alle Mineralquellen zusammenhält, ist das Wasser, welches, mit Gasen beladen, die Gesteine zersetzt und auszieht. Dieses Wasser tritt jetzt, mit verschiedenen Substanzen verbunden, an die Erdoberfläche und leitet hier neue chemische Processe ein.

Wie die chemische Zersetzung der Gesteine die mechanische Zertrümmerung derselben vorbereitet und unterstützt, so geht auch hinwiederum mit den mechanischen Trümmerabsätzen immer eine chemische Neubildung von Gesteinen aus dem Wasser Hand in Hand. Diese Neubildung beginnt zum Theil schon in den Spalten der Erdrinde, ehe die Gewässer mit ihren neuen Bestandtheilen als Quellen hervorgebrochen sind. Aber vorzüglich geschieht sie überall dort, wo die Bäche und Flüsse der Erdoberfläche entweder in ihrem eigenen Bette, oder in dem anliegenden Lande, oder an ihren Mündungen neue Ablagerungen von Geschieben bilden. Diese Ablagerungen erhalten ihre Festigkeit erst durch die im Wasser gelösten Stoffe, welche mit der Verdunstung des Wassers fest werden und als bindender Kitt für die Geschiebe dienen.

Bei aller Neubildung von mineralischen Substanzen spielen kieselsaure und kohlensaure Verbindungen wieder die Hauptrolle. Die Kieselsäure, welche in den Gewässern in Verbindung mit

Digitized by Google

wenig Alkali gelöst vorkommt, bildet hiebei entweder neue, oft wasserhaltige Silikate, oder erstarrt sie als reine, höchstens mit Wasser gemischte Substanz. Bei rascher, ausgedehnter Erstarrung entstehen auf diese Weise die gallertartigen, wasserhaltigen Opale. Heiße Quellen halten Kieselsäure in besonderer Menge aufgelöst, und setzen sie bei ihrem Ausflusse als Kieselsinter ab; in Island tritt dieser so massig auf, daß er als Baustein benützt werden kann. Wenn dagegen im Innern von Höhlenräumen der Gebirge ein Tropfen des durchsickernden Wassers nach dem andern seine Kieselsäure absetzt, so entsteht daraus jene reinste Form des Quarzes, der wasserhelle Bergkrystall der schweizer Hochgebirge. Mit der einmaligen Festwerdung hat die Kieselsäure immer ihre Löslichkeit verloren, und trotzt jetzt allen vorüberfließenden, mit Kohlensäure und mineralischen Substanzen beladenen Gewässern. Anders verhalten sich die kohlensauren Salze. Kohlensaures Kali und Natron kommen hier kaum in Betracht; denn ihre bedeutende Löslichkeit bewirkt, daß sie nicht längere Zeit als selbständige Mineralien existiren können. Um so wichtiger sind die kohlensauren Verbindungen von Kalkerde und Bittererde. Sie fallen überall dort nieder, wo das Wasser seine überschüssige Kohlensäure, welche jene Salze gelöst erhielt, durch Verdunstung verliert. So bildet sich kohlensaurer Kalk in Form von Tropfsteinen aus dem herabfallenden Wasser der Kalkhöhlen; so setzt die heiße Quelle von Karlsbad dieselbe Verbindung als Sprudelstein in dicken Schichten ab; so entsteht kohlensaurer Kalk als Travertin in großen, bis zu 500 Fuß mächtigen Ablagerungen am Rande der berühmten Wasserfälle von Terni und Tivoli. Aber diese Neubildungen aus kohlensaurem Kalke stehen hinter der erstarrten Kieselsäure an Dauer weit zurück; wie sie aus dem Wasser sich abgesetzt haben, so können sie von kohlensäurehaltigem Wasser aufs Neue aufgelöst und weggeführt werden.

Wir haben früher gezeigt, wie von allen Geschieben der

Digitized by Google

Flüsse nur die feinsten, leichtbeweglichsten bis zum Meere geführt werden. Von den Substanzen, welche sich im Wasser der Flüsse aufgelöst befinden, gelangen bis in das Meer nur diejenigen, welche unterwegs keine Zersetzung erlitten und wegen großer Löslichkeit sich gelöst erhalten haben. Es scheint, daß diese beiden Bedingungen bei dem Kochsalze besonders zutreffen; denn unter allen festen Bestandtheilen des Meeres zeigt dieses das entschiedenste Uebergewicht; neben ihm treten ein Paar andere Chlorverbindungen auf. Aber besonders sind noch die kohlensaure Kalkerde und die kohlensaure Bittererde als sichere, wenn auch untergeordnete Bestandtheile des Meerwassers zu erwähnen; sie erhalten sich in diesem, wie im süßen Wasser, durch überschüssige Kohlensäure aufgelöst. Endlich kann nach den neueren Untersuchungen auch nicht bezweifelt werden, daß sehr kleine Mengen von Kieselsäure im Meerwasser aufgelöst vorkommen. Wo am Meeresstrande mineralische Neubildungen auftreten, da bestehen sie größtentheils aus kohlensaurem Kalke; solche Absätze finden sich besonders an den Küsten der Antillen, und auf Guadeloupe liegen menschliche Skelete in diesen neuen, täglich wachsenden Kalkablagerungen eingeschlossen. Das Meer verhält sich in seinen Neubildungen ganz ähnlich den süßen Gewässern.

Mit der Neubildung von Mineralien aus Quellen, Flüssen und Meeren schließt ein Theil der Geschichte jener Substanzen, welche das kohlensäurehaltige Wasser aus den zersetzten Gebirgsgesteinen aufgenommen hatte. Diese mineralischen Substanzen kehren wieder zu ihrem Ursprunge, zu der festen Erdkruste zurück. Zu gleicher Zeit geht ein Theil der atmosphärischen Kohlensäure, des atmosphärischen Sauerstoffgases und Wassers in die Substanz der neugebildeten Mineralien als wesentlicher Bestandtheil über. Aber eine größere Menge von Kohlensäure, Sauerstoff und Wasser dunstet überall an der Oberfläche der süßen und gesalzenen Gewässer ab, und steigt in die Atmosphäre gasförmig empor; diese Substanzen haben

Digitized by Google

gleichfalls ihren Kreislauf vollendet. Die Bestandtheile der Erdrinde und der Atmosphäre legen aber nicht allein diesen Weg durch die Gewässer der Erde zurück, um unmittelbar wieder zu ihrem Ausgangspunkte verändert oder unverändert zurückzukehren. Ein großer Theil derselben wird von dem auflösenden Wasser vor dieser Rückkehr noch auf andere Bahnen geführt: sie treten in die Zusammensetzung der organischen Körper ein. Und hiebei ist vor Allem wieder zwischen den mineralischen Substanzen des Erdkörpers und den Gasen der Atmosphäre zu unterscheiden.

Die Grundstoffe, aus welchen die Masse der Organismen, ihrer Glieder und Organe zum größten Theile besteht, sind alle in der Atmosphäre vorhanden; sie heißen Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff; die beiden letzten finden sich in der Atmosphäre mit Sauerstoff verbunden, als Wasser und Kohlensäure. So ist die Substanz der Organismen mit der Atmosphäre vorzüglich verwandt, und es läßt sich zum voraus annehmen, daß die Atmosphäre auch in die organischen Processe vorzüglich eingreifen werde.

Wie kohlensäurehaltiges Wasser vornehmlich die Zersetzung der Gebirgsarten vermittelt, indem es durch zahlreiche Spalten in die Tiefen der Erdrinde eindringt, so dient dieselbe Substanz als der hauptsächlichste Antrieb und Gegenstand des Stoffwechsels der Pflanzen; Wasser, mit Kohlensäure beladen, dringt insbesondere durch die Wurzelspitzen in das Innere der Pflanzen ein. Hier bewegt es sich weiter in den vegetabilischen Saftbehältern, in Zellen und Gefäßen, und das Ziel seiner Bahn sind die Blätter, jene grünen, flächenartig ausgebreiteten Organe, welche die Pflanze der Atmosphäre und dem Sonnenlichte zuwendet. Alle grünen Pflanzentheile und vorzüglich die Blätter hauchen gasförmige Stoffe in die Atmosphäre aus. Dahin gehört zuerst jenes überschüssige Wasser, welches nicht als eigentlicher Nahrungsstoff, sondern nur als Vehikel anderer Nahrungsstoffe in der Pflanze gedient hatte

Digitized by Google

und als Wasserdunst an der Oberfläche der Pflanzen entweicht. Dann aber wird im Sonnenlichte von allen grünen Theilen Sauerstoffgas ausgehaucht. Ein großer Theil des Kohlenstoffes, welcher, mit Sauerstoff verbunden, als Kohlensäure von der Pflanzenoberfläche aufgenommen worden war, kehrt nicht mehr in die Atmosphäre zurück; sondern nur der Sauerstoff, mit dem er die Kohlensäure gebildet hatte, wird wieder ausgeschieden. Diese Zerlegung der atmosphärischen Kohlensäure, die Fixirung des Kohlenstoffes und die Aushauchung von Sauerstoffgas bezeichnet am besten die Bedeutung, welche dem Pflanzenreiche in dem großen irdischen Stoffwechsel zukommt. Der festgehaltene Kohlenstoff wird vorzüglich zur Bildung jener wichtigen Pflanzensubstanzen verwendet, welche als Stärkmehl, Dextrin und Zucker in die Ernährung des pflanzlichen Organismus aufs Tiefste eingreifen. Alle diese Stoffe bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, und der Stickstoff geht nicht in ihre Zusammensetzung ein; zu ihrer Bildung reicht kohlensäurehaltiges Wasser, dessen Sauerstoff zum Theile ausgeschieden worden ist, vollständig hin.

Außer der Aufnahme von kohlensäurehaltigem Wasser ist für die Pflanzen die Zuführung stickstoffhaltiger Substanzen durchaus nothwendig. Aber man hat keine sicheren Nachweise, in welcher Form der Stickstoff von der Pflanzenoberfläche aufgenommen wird. Vielleicht ist es nur das Ammoniakgas, vielleicht aber auch das Stickgas der Atmosphäre, welche, in Wasser aufgelöst, ins Innere der Pflanze eindringen und zur Ernährung derselben verwendet werden. Es fehlt für die Bildung der stickstoffhaltigen Pflanzensubstanzen, des Klebers und Eiweißstoffes, an jener sicheren Erklärung, welche die stickstofflosen Bestandtheile von kohlensäurehaltigem Wasser ableitet. Es fehlt daher auch an sicheren Anhaltspunkten für die Bestimmung der Rolle, welche das Pflanzenreich in Bezug auf den Stickstoff im großen Haushalte der Natur spielt. So viel ist aber unzweifelhaft, daß atmosphärische Substanzen hinreichen,

um das Leben der Pflanzen zu unterhalten, und daß unter diesen Substanzen das Wasser theils als wirkliches Nahrungsmittel, theils als Vehikel der übrigen Nahrungsstoffe sich auszeichnet. So weit dieses Wasser nicht zur Ernährung selbst verwendet worden ist, dunstet es an den oberirdischen Theilen der Pflanze ab. Und diese wäßrige Ausdünstung bewirkt insbesondere, daß Pflanzen, daß namentlich Wälder und Wiesen die Atmosphäre feucht erhalten; sie geben der Luft das Wasser zurück, welches sie zu Zwecken ihres Stoffwechsels vorher aufgenommen hatten.

Die stickstofflosen und stickstoffhaltigen Substanzen, welche der pflanzliche Organismus aus Bestandtheilen der Atmosphäre zusammensetzt, dienen zunächst zur Ernährung des Thierreiches. Das Thier ist von der Pflanze darin wesentlich verschieden, daß es seine eigene Substanz nur aus Theilen anderer Organismen, nicht aus atmosphärischen Stoffen selbst zu bilden vermag. Es nimmt seine Nahrung theilweise von anderen Thieren; aber die letzte Quelle aller thierischen Ernährung ist doch das Pflanzenreich. So ziehen in den thierischen Körper Stoffe ein, welche die Pflanze aus dem Sauerstoff und Stickstoff, aus dem Wasser, der Kohlensäure und dem Ammoniak der Atmosphäre zusammengesetzt hatte. Diese Bildungen des Pflanzenreiches zersetzt nun das Thier wieder in seinem Stoffwechsel. Es gibt den Stickstoff wieder durch Absonderung, durch Schweiß und Urin als Ammoniak der umgebenden Schöpfung zurück. Es leitet insbesondere den von der Pflanze zurückgehaltenen Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre zurück. Den Sauerstoff nämlich, welchen die Pflanze ausgehaucht hatte, um aus zersetzter Kohlensäure ihre stickstofflosen Stoffe zu bilden, zieht das Thier wieder aus der Atmosphäre an sich, und haucht mit seiner Hilfe den Kohlenstoff als Kohlensäure im Athmungsprocesse wieder aus.

So legen die atmosphärischen Substanzen in den organischen Körpern einen zweiten Kreislauf zurück; es ist die Lebens-

Digitized by Google

thätigkeit selbst, welche jene Substanzen aufnimmt und wieder ausstößt. Am Klarsten verhält sich hiebei die Kohlensäure der Atmosphäre; sie tritt in die Pflanze ein, und wird von dieser unter Ausscheidung von Sauerstoff zerlegt. Der Kohlenstoff, auf diese Weise angeeignet, geht in das Thier über, und kehrt endlich aus diesem, mit Sauerstoff verbunden, wieder als Kohlensäure in die Atmosphäre zurück. Aber diese Rückkehr der atmosphärischen Substanzen zu ihrem Ursprunge wird nicht blos durch die Lebensthätigkeiten des Thieres, durch Absonderung und Athmung vermittelt; sondern, wo ein organischer Körper, sei er Pflanze oder Thier, nach dem Erlöschen seines Lebens sich zersetzt, da zerfällt er durch den Proceß der Verwesung wieder in dieselben Stoffe, welche in die Wurzel der Pflanze als Nahrungsmittel durch Wasser eingeführt worden waren. Ammoniak und Kohlensäure sind die vorherrschenden Produkte der Verwesung; jenes überwiegt im Thierreich, diese im Pflanzenreich. Außerdem findet auch an der Oberfläche der lebenden Pflanze ein langsamer, wenig intenser Verwesungsproceß statt. Die grünen Pflanzentheile hauchen nur bei Tag Sauerstoffgas aus; während der Nacht geschieht an ihrer Oberfläche umgekehrt eine Aufsaugung von Sauerstoffgas und eine entsprechende Ausscheidung von kohlensaurem Gas; und auf dieselbe Weise verhalten sich die nichtgrünen Pflanzentheile sowohl bei Tag als bei Nacht; hiebei wird offenbar ein Theil des Kohlenstoffes der Pflanzensubstanz auf Kosten des atmosphärischen Sauerstoffes in Kohlensäure verwandelt.

Diese Oxydation des Kohlenstoffes der organischen Körper durch den Sauerstoff der Atmosphäre ist also der thierischen Athmung und der thierischen und pflanzlichen Verwesung gemeinschaftlich. Aber unter gewissen Umständen schreitet die Verwesung bei den Pflanzen, seltner bei den Thieren nicht bis zur völligen Umwandlung des Kohlenstoffes in Kohlensäure fort. Es bleibt nicht selten, wenn die Pflanze verwest, ein Theil ihres Kohlenstoffes in dem Erdboden zurück; die Pflanzen-

Digitized by Google

substanz unterliegt dann dem Processe der Verkohlung. Die vollständige Verwesung der Pflanzen scheint theils durch mangelhaften Luftzutritt, theils durch Gegenwart von stehendem Wasser gehindert zu werden. Beide Bedingungen treffen bei den Torfmooren zusammen, und der Torf stellt daher in der jetzigen Ordnung der Dinge das vorzüglichste Beispiel für die natürliche Verkohlung der Pflanzensubstanz dar. Der Torf entsteht in Sümpfen, deren Jahresvegetation, statt völlig zu verwesen, nur einer theilweisen Zersetzung unterliegt. Auf der Oberfläche der verkohlenden Schichte entwickelt sich eine neue Pflanzendecke, und so wächst der Torf ins Unbegränzte fort; das Alter mehrerer Torfmoore reicht über 2000 Jahre hinauf. Die Zersetzung, welche im Torfe vor sich geht, hat zu ihrer nächsten Folge eine Zunahme des Kohlenstoffgehaltes durch Ausscheidung der übrigen Elementarstoffe der Pflanzen; insbesondere geht der Wasserstoff mit einem Theil des Kohlenstoffes als Kohlenwasserstoffgas, als sogenannte Sumpfluft, der Sauerstoff aber gleichfalls mit Kohlenstoff als Kohlensäure weg; je mehr der übrig bleibende Kohlenstoff überwiegend, je vollkommener die Verkohlung wird, desto dunkler färbt sich die Masse des Torfes, und desto weniger lassen sich im Torfe die einzelnen Pflanzentheile noch erkennen. Dieser Zersetzung unterliegen nicht blos die kleinen Torfpflanzen, sondern auch Baumstämme, welche in die Torfmoore stürzen. Ganz auf dieselbe Weise zersetzen sich aber die untermeerischen Wälder, welche an manchen Küsten, so an den Küsten von Schottland und Nordfrankreich, als Folge von örtlichen Senkungen beobachtet werden; nur daß hier zwischen die verkohlenden Pflanzentheile Gerölle und Schlamm als mineralische, vom Meer gebildete Schichten sich einlagern.

Die Torfbildungen wiederholen nach kleinen Maaßstäben und in beschränkten Zeiträumen jene großartigen Ablagerungen von Steinkohlen und Braunkohlen, welche seit Millionen von Jahren in den Schichten der Erdrinde eingeschlossen liegen.

Digitized by Google

Der Kohlenstoff, das einzige Element, welches nur in fester, nie in tropfbarflüssiger oder gasartiger Form auftritt, wird im Processe der Verkohlung seinem Ursprunge, der Atmosphäre, entfremdet und in einen Bestandtheil der festen Erdrinde verwandelt. Es geschieht hier etwas Aehnliches, wie bei der Bildung kohlensaurer Mineralien, wo jene atmosphärische Kohlensäure, welche zur Zersetzung der Gesteine gedient hat, selbst an der Zusammensetzung der neugebildeten Gesteine Theil nimmt. Atmosphärischer Kohlenstoff wird in beiden Fällen in den Schichten der Erdrinde festgehalten. Aber die feste Kohle, welche sich in der Erdkruste ablagert, kehrt am Ende doch wieder in die Atmosphäre zurück. Stärker als thierische Athmung und organische Verwesung wirkt in dieser Beziehung die Verbrennung der organischen Körper (S. 148); wo hohe Temperatur und zugleich atmosphärischer Sauerstoff ungehindert einwirkt, da hört die Zersetzung der organischen Bestandtheile erst mit ihrer völligen Umwandlung in Gase, mit ihrer völligen Ueberführung in die Atmosphäre auf. Derselbe Proceß verwandelt die feste Kohle des Erdkörpers, den Torf wie die Braunkohlen oder Steinkohlen, in Kohlensäure. Seit Menschen die Erde bewohnen und die Kräfte und Stoffe der Erde zu ihren Zwecken benützen, sind große Mengen natürlicher Kohlen durch den Verbrennungsproceß der Atmosphäre zurückgegeben worden; aber noch immer wachsen an der Oberfläche Kohlen nach, und es scheint erst jetzt die Ausbeutung der Torfkohle gründlicher und umfassender als bisher unternommen zu werden.

Soweit die bisherigen Beobachtungen gehen, scheint der Stickstoff als Ammoniak, d. h. mit Wasserstoff verbunden, in das Reich der Organismen einzugehen und in derselben Form wieder aus ihm in die Atmosphäre auszutreten. Der Kohlenstoff wird in das organische Reich, mit Sauerstoff verbunden, als Kohlensäure eingeführt und kehrt auch als Kohlensäure wieder in die Atmosphäre zurück. Athmung, Absonderung, Verwesung, Verbrennung sind die Processe, welche mit steigen-

der Energie die Rückkehr von Kohlenstoff und Stickstoff in die Atmosphäre vermitteln. Aber auf dem ganzen Wege durch das organische Reich werden diese beiden Elemente von Wasserstoff und Sauerstoff begleitet; mit ihnen bilden sie die Grundlage aller organischen Substanzen; mit dem Wasserstoff scheint der Stickstoff, mit dem Sauerstoff der Kohlenstoff eine besondere Verwandtschaft zu bewahren. Ueberdieß ist es das Wasser, die chemische Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff, welches die genannten vier Elemente bei ihrer Aufnahme, Aneignung und Ausscheidung durch die organischen Körper als der Träger und Vermittler aller Processe begleitet.

So besteht die Hauptmasse der organischen Körper aus Grundstoffen, welche in der Atmosphäre enthalten sind. Aber außer diesen Elementen treten in den Pflanzen und Thieren untergeordnet auch solche auf, welche dem Erdkörper eigenthümlich sind. Dahin gehören von Metallen Kalium, Natrium, Calcium, Magnium, Aluminium, Eisen, von den nichtmetallischen Elementen Chlor, Jod, Schwefel, Phosphor, Silicium. Vorzüglich sind es Metalle, mit Sauerstoff verbunden, d. h. Salzbasen, welche in den organischen Körpern auftreten; so Kali, Natron, Kalkerde und Bittererde. Von Säuren sind nur Kieselsäure und Phosphorsäure zu erwähnen; in der Mehrzahl der Fälle verbinden sich die genannten Salzbasen mit organischen, den Pflanzen und Thieren eigenthümlichen Säuren. Wie solche Basen und Säuren des Erdkörpers in die Organismen gelangen, ist nach dem Bisherigen leicht zu erklären. Sie werden den Organismen in der Form jener Verbindungen zugeführt, welche früher als hauptsächliche Bestandtheile der Quellen geschildert worden sind, und welche sich theils im Wasser an sich, theils in kohlensäurehaltigem Wasser auflösen. Außerdem gehen sie in organischen Nahrungsstoffen von der Pflanze ins Thier und vom pflanzenfressenden Thiere ins fleischfressende über. In den Organismen selbst ist die Bedeutung jener Stoffe eine verschiedene. Wie Kali und Natron, sobald

Digitized by Google

sie aus ihren kieselsauren Verbindungen in der Erdkruste ausgeschieden sind, selten in bleibenden Mineralien, sondern meist nur als Bestandtheile von Gewässern auftreten, so nehmen sie in den organischen Körpern nicht so sehr an dem Aufbau der festesten Organe, der Skelete, als an der Zusammensetzung der beweglichen Säftemasse Theil. Kalkerde aber und Kieselsäure sind die beiden Oxyde, welche sowohl in Pflanzen als in Thieren den festen Theilen besonders angehören; und zwar die Kieselsäure der harten Oberhaut der Gräser, den Panzern vieler Infusorien, die Kalkerde den Stämmen unserer Bäume, den Gehäusen der Muscheln, den Knochengerüsten der höheren Thiere; hier, wie in der Erdrinde dienen sie dem Festen als hauptsächliche Unterlage und auszeichnender chemischer Charakter.

Alle Bestandtheile, welche die organischen Körper aus der Erdrinde aufnehmen, werden, gleich den atmosphärischen Substanzen, theils durch die Absonderungen der Thiere wieder aus dem Bereiche des Organischen abgeschieden, theils fallen sie durch Verwesung oder Verbrennung der Thiere und Pflanzen wieder der Erdrinde anheim. Aber wie von einzelnen Organismen, und besonders von manchen Pflanzen ein erkennbarer, fester Rest in der Erdrinde durch den Proceß der Verkohlung zurückbleibt, so bewirken in anderen Fällen die mineralischen Bestandtheile der Organismen, daß bei der Verwesung ihre Form nicht ganz verloren geht. Die Organismen zeichnen sich nämlich während ihres Lebens durch die Fähigkeit aus, Bestandtheile der Erdrinde in sich anzusammeln. Substanzen, welche in manchen Bodenarten oder im Wasser der Meere wegen ihrer geringen Quantität kaum oder doch schwer aufzufinden sind, lassen sich in den Pflanzen, welche jener Boden oder jene Meere beherbergen, leicht erkennen; aus den Wassertheilchen, welche durch die Pflanzen durchwanderten, haben diese die aufgelösten mineralischen Substanzen angezogen, festgehalten und angehäuft. Wenn in einem Organismus viele solche mineralischen Stoffe sich angesammelt, wenn sie sehr feste Skelettheile

Digitized by Google

gebildet haben, so behalten diese festesten Theile auch nach dem Tode der Pflanze oder des Thieres ihren inneren Zusammenhang. So verhält es sich mit dem Holze der Stämme, mit den Kieselpanzern vieler Infusorien, mit den Schalen der Muscheln und mit den Knochen der Wirbelthiere. Die organische Substanz wird durch den Verwesungsproceß zersetzt, und die mineralischen Bestandtheile leisten den äußeren Einflüssen noch längeren oder kürzeren Widerstand. Aber wo die todten Organismen dauernd von Gewässern bedeckt sind, führt das Austreten der organischen Substanz noch eine andere Veränderung, die **Versteinerung** der Organismen mit sich.

Wie die lebenden Organismen Anziehungspunkte für mineralische Substanzen sind, so zieht auch ihre verwesende Masse aus den umgebenden Gewässern aufgelöste mineralische Stoffe an sich; für das austretende organische Theilchen tritt bei der Versteinerung ein mineralisches Theilchen ein. Kohlensaurer Kalk und Kieselsäure sind die hauptsächlichsten Versteinerungsmittel. Wir sprechen hier nicht von solchen Fällen, wo Gewässer, welche einen dieser Stoffe in besonders hohem Maaße enthalten, organische Körper überrindet und auf diese Weise in Stein verwandelt haben; der isländische Geyser und die Wasserfälle von Tivoli geben davon klare Beispiele. Sondern wir möchten nur diejenigen Formen der Versteinerung hervorheben, welche in Wassermassen von gewöhnlichem Gehalt an mineralischen Stoffen vor sich gehen. So wurden die hölzernen Pfähle jener Brücke, welche Trajan im Jahre 104 bei Belgrad über die Donau geschlagen hatte, im Anfange dieses Jahrhunderts näher untersucht; sie fanden sich, von der Oberfläche aus 1/2 Zoll tief verkieselt. So versteinern die kleinen Früchtchen der Chara, einer Wasserpflanze der schottischen See'n, indem sie aus diesen See'n kohlensaure Kalkerde aufnehmen. Aehnliche Beobachtungen sind an verschiedenen Punkten über die Versteinerung thierischer Theile gemacht worden. Insbesondre aber waren es die Muscheln des mittelländischen Meeres,

Digitized by Google

welche in neuster Zeit durch genauere Untersuchung den Versteinerungsproceß sehr aufgeklärt haben. Die Umwandlung beginnt hier mit Entfärbung und Glättung der Muschelschalen; sie schließt mit dem völligen Uebergang derselben in eine krystallinische, alabasterähnliche Masse, welche aus kohlensaurem Kalke besteht und die Form der Schale im Wesentlichen wiedergibt.

Die Bedeutung dieses Processes beschränkt sich nicht darauf, daß von vielen organischen Körpern nach ihrem Verwesen noch ein mehr oder weniger getreues, steinernes Abbild zurückbleibt. Sondern wo in der jetzigen Ordnung der Dinge aus süßen oder gesalzenen Gewässern großartige Absätze von aufgelösten mineralischen Substanzen geschehen, da werden sie immer durch Organismen vermittelt. Die Geschiebe, welche auf dem Grunde der Flüsse, See'n und Meere sich zu festen Ablagerungen ausbilden, bedürfen der Hilfe der Organismen allerdings nicht zu ihrem Absatze. Aber die Stoffe, welche in Flüssen und Meeren aufgelöst enthalten sind, müssen, ehe sie große Absätze bilden können, immer aus den wenig concentrirten Auflösungen sich an einem Punkte sammeln; und diese Ansammlung wird durch Thiere und Pflanzen theils während ihres Lebens, theils während ihrer Verwesung bewerkstelligt. Auf solche Weise bilden die Reste der Organismen an verschiedenen Orten noch jetzt mächtige Massen von festen Ablagerungen.

Dahin gehören vor Allem die zahlreichen Korallenriffe und Koralleninseln der Südsee und des indischen Meeres. Neuholland wird an seiner Ostküste von einem solchen Riffe in der Ausdehnung von 200 Meilen umgeben; die Höhe der Korallenbaue steigt von 12 Fuß bis zu 300 Fuß und darüber. Es sind die Kalkstöcke lebender und abgestorbener Polypen, welche die Unterlage jener Riffe und Inseln bilden, und deren Zwischenräume durch Meeressand, durch Stücke des Korallengerüstes und durch die Trümmer von Muschelschalen oder den Gehäusen und Skeleten anderer Seethiere ausgefüllt

Digitized by Google

werden; das Ganze vereinigt sich endlich zu einer festen Masse, auf welcher sich Pflanzen, dann Insekten und Vögel, endlich auch Menschen ansiedeln. Die Koralleninseln ragen aber nie weit, selten mehr als 10 Fuße über den Spiegel des Meeres empor, und werden daher als die niedrigen Inseln des großen Oceans bezeichnet. Gegenüber von diesen großartigen Absätzen kohlensauren Kalkes, welche die Korallen vermitteln, stehen die ausgedehnten Ablagerungen von Kieselsäure durch die kieselschaligen Infusorien. Diese mikroskopischen Organismen bilden ihren Kieselpanzer aus den kleinen Kieselsäuremengen, die sie aus den umgebenden Gewässern aufsaugen und in sich anhäufen. Ihr Entdecker Ehrenberg rechnet sie zu den Thieren; aber die neusten Beobachtungen machen es wahrscheinlicher, daß sie für niedere Pflanzen zu halten sind. Diese Infusorien finden sich sowohl in süßem als gesalzenem Wasser; auf stehenden Gewässern bilden sie bei warmer Witterung einen handdicken Ueberzug. Die Größe der einzelnen Thiere ist so gering, daß über 100 Millionen derselben erst einen Gran wiegen. Und doch bilden sie in kurzer Zeit massige Absätze aus süßen und gesalzenen Wassern. Ehrenberg sammelte von ihnen im berliner Thiergarten während einer Stunde fast ein Pfund; im Schlamme des Hafens von Wismar aber, am baltischen Meere, bilden sich während eines einzigen Jahres 17,496 Cubikfuß dieser Organismen. In Sümpfen, an Gräben und Meeresküsten schreiten diese Kieselabsätze immer fort, und jede neue Untersuchung bringt neue Beweise für ihre ausgedehnte Verbreitung. Diese Leistungen mikroskopischer Organismen übertreffen an Kleinheit der Werkzeuge und an Größe der Erfolge die Korallenbaue noch um ein Bedeutendes.

Mit diesen einleuchtenden Beweisen von dem Beitrage der Organismen zum Wachsthum der festen Erdrinde beschließen wir die Schilderung der chemischen Processe, welche Atmosphäre, Gewässer und Erdrinde umfassen. Der Träger dieser Processe, das Wasser, steigt bis in die höchsten Höhen der Atmosphäre

Digitized by Google

hinauf und sinkt hinab bis zu den größten Tiefen der festen Erdkruste. Es leitet die Bestandtheile der Atmosphäre in die Gesteine, um chemische Umwandlungen in ihnen zu bewirken, um aus ihnen mineralische Substanzen aufzunehmen. Es führt die atmosphärischen und mineralischen Stoffe weiterhin in die chemischen Processe der Organismen ein. Aber aus dem Wasser, wie aus den organischen Körpern, kehren die Gase wieder in den Luftkreis, die mineralischen Substanzen wieder zur Erdrinde zurück. Dieser Kreislauf läßt im Allgemeinen die Mischung von Atmosphäre und Erdkörper unverändert; nur in einzelnen Punkten ist zu bemerken, daß die Erde während dieser Processe nicht ganz dieselbe bleibt.

Wir lassen vorerst die Frage unberührt, ob der Gehalt der Atmosphäre an kohlensaurem Gas durch die chemischen Processe, die an der Erdoberfläche vor sich gehen, verändert wird. Aber sicher ist es, daß je länger die Atmosphäre und die Gewässer chemisch auf die Erdoberfläche einwirken, um so mehr die Veränderung der Gebirgsgesteine zunimmt. Insbesondere unterliegen jene krystallinischen, kieselsäurehaltigen, als Urgebirge aufgefaßten Gebirgsarten einer fortschreitenden Zersetzung. Der Kern der Erdkruste, welcher die Unterlage der tiefsten und höchsten Stellen der Erdrinde bildet, welcher sich zum Meeresboden vertieft und zu Hochgebirgen erhebt, wird hiedurch seiner Kieselsäure beraubt, und seine Salzbasen setzen mit der atmosphärischen Kohlensäure neue Verbindungen und neue Ablagerungen zusammen. Wenn wir diese untersten Lagen der Gebirge als diejenigen betrachten, welche dem Erdkörper vor allen andern eigenthümlich sind, so stellt sich für die chemische Veränderung der Erdoberfläche dasselbe Resultat heraus, wie für ihre mechanische Abnützung: Atmosphäre und Gewässer verwischen nach Zusammensetzung und äußerer Form die Eigenthümlichkeit des festen Erdkörpers. Wie aber durch Hebungen und Senkungen die Erdrinde immer neue Formen gewinnt, so erzeugt sie auch aus ihrem Innern hervor immer noch frische,

Digitized by Google

kieselsaure Gesteine. Die Laven unserer Vulkane stimmen mit den Gesteinsmassen des Urgebirges in ihren wesentlichen Beziehungen überein. So wirken der Erdkörper und seine Hüllen chemisch und mechanisch ununterbrochen gegeneinander, jener von innen heraus sich neu erzeugend und gestaltend, diese die eigenthümlichen Gebilde des Erdkörpers zersetzend und verwischend; aber mit der längeren Dauer dieser Wechselwirkung erhält die Einwirkung der tropfbarflüssigen und der gasförmigen Hülle allmählig das Uebergewicht.

Mit diesem Zurückweichen der individuellen, Neues erzeugenden Kraft des Erdkörpers tritt die Eigenthümlichkeit der einzelnen Gesteine in der Erdrinde mehr und mehr hervor. Wo ein reines Mineral von bestimmter Zusammensetzung sich bei seinem Festwerden ungehindert gestalten kann, da tritt es in eigenthümlicher Form, als Krystall auf. Die Krystallform entspricht genau der chemischen Zusammensetzung; sie ist verschieden bei chemisch verschiedenen Gesteinen; sie richtet sich nicht nach äußeren Bedingungen, und sie bildet sich nur aus, wenn das Gestein bei seinem Festwerden von Verunreinigungen ganz oder nahezu frei ist. Gegenüber der Kugelform der Himmelskörper ist der Krystall von lauter ebenen Flächen und geraden Kanten begränzt; bei jedem einzelnen werden die Richtungen seiner Flächen und die Winkel seiner Kanten durch feste Verhältnisse bestimmt. In den kieselsäurehaltigen Urgebirgsgesteinen tritt nun die Krystallform der einzelnen Mineralien bisweilen ausgebildet hervor; aber in der Mehrzahl der Fälle bleiben doch die Mineralien, welche Granit, Syenit, Dolerit zusammensetzen, bei einer blosen Andeutung der Krystallform, bei dem krystallinischen Zustande stehen, weil das eine Mineral das angränzende an der vollen Entwicklung seiner Gestalt räumlich hindert. Erst das auflösende Wasser zieht aus den kieselsauren Gebirgsarten die einzelnen Mineralien aus, und setzt sie, mannigfach verändert, in Spalten und Klüften oder an äußeren Oberflächen ab. Hier ist Raum für die un-

Digitized by Google

gehinderte Ausbildung der Krystallform, und die größten, rein= sten Krystalle gehören daher wäßrigen Absätzen in Spalten oder Höhlenräumen der Gebirge an. Die reine Kieselsäure oder der Bergkrystall und die reine kohlensaure Kalkerde oder der Kalkspath bewähren diese Thatsache durch einen großen Reichthum an Krystallformen. Dem Erdkörper gegenüber er= scheint das krystallisirte Mineral nur als ein Einzelnes, Un= selbständiges. Seine Entstehung ist nur ein Resultat der che= mischen Processe des Erdkörpers, und seine Zerstörung hängt gleichfalls nur von äußeren Bedingungen ab. Seine Gestalt hin= gegen verfolgt eine andere Richtung, als die Gestalt der Pla= neten; sie entwickelt aus der Kugelform heraus ebene Flächen, Kanten und Ecken. Es ist, wie wenn hier ein neues Princip der Gestaltung erwachen würde, vom planetarischen Wesen be= stimmt, aber anfangs zurückgehalten, und erst frei hervortretend, wenn die gestaltende Kraft des Planeten abnimmt. Die Schil= derung der organischen Formen kann auch für die Krystallform erst die rechte Aufklärung bringen.

II. Die früheren Zustände der Erde.

Wie die früheren Erlebnisse und Entwicklungen eines Men= schen aus seinem jetzigen, geistigen und körperlichen Verhalten, aus der Art seiner Weltanschauung, aus den Zügen seines Angesichtes errathen und verstanden werden können, so erfaßt die Geologie die Processe, welche jetzt an der Erde sich zu= tragen, um aus ihnen die vergangenen Zustände unseres Planeten theils zu vermuthen, theils mit Hilfe zerstreuter That= sachen zur festen Anschauung zu bringen. Dieselben Kräfte, dieselben Gegensätze, welche jetzt den Schauplatz unserer Thä= tigkeit bewegen, haben in unserm Planeten von jenem Augen=

Digitized by Google

blicke an gewirkt, wo der Schöpfer ihn als ein besonderes Gestirn aus dem ungeschiedenen Stoffe des Weltraumes entstehen ließ. Wir werden jene Kräfte und Gegensätze in den früheren Epochen der Erde nur in andern Verhältnissen, als in der Jetztwelt, wiederfinden.

Aus dem Gebiete des Thatsächlichen, Alltäglichen ist es nöthig, zu Hypothetischem, Längstvergangenem zurückzugehen. Wenn die Theorie des Laplace richtig ist, so gehörte unsere Erde einst zu jenen Nebelflecken des Himmelsraumes, welche als entstehende Sternsysteme betrachtet werden (S. 250). Der Nebelfleck schied sich, und aus seiner Masse ging in der Mitte die Sonne, im Umfange die Gruppe der zwanzig Planeten hervor. Nur der Centralkörper des Systemes wurde selbstleuchtend. Ein kleiner Theil der ungeformten Masse gestaltete sich zu unserer dunklen Erde; aus weiteren Räumen zog sich dunstförmige Substanz zu diesem festen, kugelförmigen Planeten zusammen. Mit der festen Begränzung begann die Erde ihre Umdrehung um sich selbst und ihren Lauf um die Sonne. Aber wie die Verdichtung aller Körper mit Wärmeentwicklung verbunden ist (S. 84 ff.), so geschah es auch bei der Bildung der Erde. Aus der Zusammenziehung ihrer Substanz zu einem begränzten Planeten folgte eine bedeutende Erhitzung ihrer Masse; ihre Bestandtheile blieben eine Zeitlang in tropfbarflüssigem Zustande; sie begann ihre Bewegung als eine feurigflüssige Kugel. Wie aus dieser Cohäsionsform ihre polare Abplattung hervorgehen mußte, haben wir schon früher gezeigt (S. 232). Aber mit der ersten Entstehung der Erde als eines eigenen Planeten war ohne Zweifel auch die wichtigste Scheidung desselben schon gegeben: er trat sogleich als ein feurigflüssiger Körper mit gasförmiger Hülle auf.

Ueber die anfängliche Beschaffenheit von Körper und Hülle können natürlich nur Vermuthungen geäußert werden. So viel folgt aus den bisherigen Annahmen nothwendig, daß tropfbarflüssiges Wasser an der Oberfläche des glühenden Erdkörpers

Digitized by Google

nicht vorhanden sein konnte. Alles Wasser, was jetzt die Erdoberfläche als tropfbarflüssige Hülle bedeckt, befand sich anfänglich als Wassergas in der Atmosphäre. Außer diesem großen Gehalte an gasförmigem Wasser bestand die Atmosphäre ohne Zweifel aus Stickgas, Sauerstoffgas und kohlensaurem Gas; vielleicht war in ihr auch schon Ammoniakgas vorhanden. Wir nehmen mit Bischof an, daß die ursprüngliche Erdatmosphäre an Sauerstoff und Kohlensäure reicher gewesen sei, als die jetzige. Dieser dichten, an wirksamen Stoffen reichen Atmosphäre stand der Erdkörper gegenüber. Wenn wir die Eigenthümlichkeit seiner Zusammensetzung kurz bezeichnen sollen, so bestand sie in seinem Gehalt an Metallen und Silicium. Wir können aber in dem Erdkörper so wenig als in der Atmosphäre ursprünglich lauter elementäre Stoffe, Metalle oder Metalloide, annehmen, aus deren Vereinigung erst die jetzigen chemischen Verbindungen hervorgegangen wären. Denn welche, jetzt nicht mehr vorhandene Ursache hätte im Anfange der Dinge die chemischen Elemente gehindert, sich untereinander, und besonders mit Sauerstoff zu verbinden? Die chemischen Verwandtschaften der Stoffe waren damals dieselben wie jetzt, und sie mußten durch die hohe Temperatur der Erde nur viel stärker in Wirksamkeit gesetzt werden. Wie wir also in der ersten Atmosphäre Kohlensäure, Wasser und vielleicht auch Ammoniak als schon gebildet annehmen, so müssen auch die Metalle und das Silicium des ursprünglichen Erdkörpers schon in chemischer Verbindung gedacht werden. Der Erdkörper enthielt vorzüglich Metalloxyde und Kieselsäure, und beide setzten wieder vielfach chemische Verbindungen, Silikate, zusammen.

Wenn wir früher die Mineralien der Erdrinde nach ihren chemischen Bestandtheilen in zwei große Klassen, in die Kieselgruppe und Kalkgruppe, unterschieden haben, so würde, nach der soeben vorgetragenen Ansicht, in dem ursprünglichen Erdkörper nur die eine Gruppe, nämlich die Kieselgruppe vorhanden gewesen sein; Verbindungen der atmosphärischen Kohlen-

Digitized by Google

säure mit Salzbasen hätten damals noch nicht existirt. Außer den Silikaten scheinen indeß noch einige andere Salze in untergeordneter Weise dem ursprünglichen Erdkörper angehört zu haben, nämlich die schwefelsauren Verbindungen des Kalis, Natrons und Baryts, der phosphorsaure Kalk oder Apatit und wahrscheinlich einige Verbindungen des Chlors und Fluors mit leichten Metallen. Alle Verbindungen, welche damals in dem Erdkörper existiren sollten, mußten dem Einfluß der hohen Erdwärme und der chemischen Wirkung der Kieselsäure zu widerstehen vermögen. Dieses unbedingte Uebergewicht der Kieselsäure, diese völlige Ausschließung der Kohlensäure von dem Erdkörper konnte übrigens nicht lange bestehen. Es begann bald eine Einwirkung der atmosphärischen Kohlensäure auf die Oberfläche des Erdkörpers, und es war das gewöhnliche Vehikel, nämlich das Wasser, welches die Kohlensäure zur Erdoberfläche herabführte.

Bringt man in Anschlag, daß die hohe Temperatur der Erde nicht aus einem fortdauernden Verbrennungs- oder Orydationsprocesse des Erdkörpers, sondern nur aus der anfänglichen raschen Verdichtung unseres Planeten folgte, bedenkt man ferner, daß die Temperatur des Himmelsraumes sehr niedrig, vielleicht mehr als 60 Grade unter dem Gefrierpunkte ist, so begreift es sich ohne Schwierigkeit, daß die Erde unmittelbar nach ihrer vollen Gestaltung anfangen mußte, von außen her zu erkalten. Zuerst erkaltete die Atmosphäre und es fiel ein Theil ihres Wassers tropfbarflüssig auf die Erdoberfläche herab. Hier konnte aber das Wasser erst tropfbarflüssig bleiben, als die Oberfläche des Erdkörpers durch Erkaltung selbst zu erstarren anfing. Eine dünne Kruste von festem Gestein überzog jetzt rings die feurigflüssige Kugel, und das Wasser, welches auf dieser Kruste niederfiel, begann ihre Substanz chemisch und mechanisch zu verändern. Wir nehmen an, daß diese erste Kruste im Wesentlichen mit dem jetzigen Granit übereinstimmte, daß sie vorzüglich aus Kieselsäure, Kali,

Digitized by Google

Natron, Kalkerde, Bittererde, Thonerde, Eisenoxydul und Eisenoxyd bestand, und ein krystallinisches, aus mehreren Mineralien gemengtes Gestein darstellte. Das Wasser, welches auf die Kruste niederfiel, war theils durch seine hohe Temperatur, theils durch seinen großen Gehalt an Sauerstoff und Kohlensäure besonders geeignet, chemische Zersetzungen einzuleiten. So begann mit großer Intensität jene chemische Wechselwirkung, welche jetzt noch zwischen den Gasen der Atmosphäre und den kieselsäurehaltigen Gesteinen der Erdrinde fortdauert. Es begann die Zersetzung der ersten Kruste und die Ablagerung neuer Schichten aus den Gewässern der Erdoberfläche. Was spätere Absätze aus Wasser erkennen lassen, ist nur eine wenig veränderte Wiederholung der Charaktere jener ersten wäßrigen Ablagerungen. Es ist daher wichtig, die Kennzeichen und Arten der wäßrigen Absätze in physikalischer und chemischer Beziehung hier sogleich zusammenzufassen.

Wenn auf dem Boden kleinerer oder größerer Wassermassen unserer jetzigen Erdoberfläche sich Ablagerungen von Geschieben bilden (S. 344), so schmiegen sich diese mit ihrer Form nicht den Erhabenheiten oder Vertiefungen des Grundes durchaus an; sondern ihre Oberfläche erscheint im Allgemeinen horizontal, und nur am Rande, wo die Ufer des Wasserbeckens sich erheben, steigt auch nicht selten die Geschiebelage etwas an. Wiederholt sich nun eine solche Ablagerung öfters, setzen z. B. die Zuflüsse eines Gebirgssee's in jedem Frühjahr große Geschiebemassen auf dem Seegrunde ab, so entstehen übereinander Lagen von wechselnder Dicke; aber jede Lage wird durch eine horizontale Fläche von der nächstoberen und nächstunteren abgegränzt, und alle erscheinen demnach parallel, in horizontaler Richtung ausgebreitet. Solche Lagen bezeichnet man immer als Schichten. Es gehört zu diesen also einmal die horizontale, auf weite Strecken gleichmäßige Oberfläche, und dann die Wiederholung derselben Richtung in mehreren, übereinanderliegenden, parallelen Gesteinslagen. Die

horizontale Lagerung kommt nun freilich sehr oft nur den neuesten Schichten zu; sie ist mit der horizontalen Oberfläche der Wassermassen selbst im nächsten Zusammenhange. Wo man dagegen ältere Schichten untersucht, also in den meisten Fällen geognostischer Beobachtung, da finden sich die Schichten gewöhnlich mehr oder weniger geneigt; sie sind durch die Hebungen und Senkungen der Erdrinde nachträglich aus ihrer horizontalen Lage gebracht worden. Doch genügt dann für die Erkennung der geschichteten Gebirge die regelmäßige Aufeinanderfolge mehrerer, unter einander paralleler Gesteinslagen. Indeß wird auch dieser Parallelismus der Lagen an verschiedenen Orten mit verschiedener Leichtigkeit erkannt; er prägt sich bald nur in kolossalen Schichtungen der Gebirge, bald in der schiefrigen Struktur der kleinsten Handstücke aus; jenes z. B. in mächtigen Kalk- und Sandsteinen, dieses in den Thonschiefern, welche zum Decken der Häuser benützt werden.

Wenn die aus Wasser abgesetzten, sedimentären Gesteine überall durch die gleiche äußere Form, durch Schichtung sich auszeichnen, so stimmen sie auf der andern Seite auch durch ihre innere Zusammensetzung wesentlich mit einander überein. In welcher Periode der Erdbildung diese Gesteine entstanden sein mögen, sie sind nie etwas Anderes, als unmittelbare oder mittelbare Zersetzungsprodukte jener krystallinischen Gebirgsarten, welche überall die Unterlage der geschichteten Gebirge darstellen. Mit dem ersten Herabfallen tropfbarflüssigen Wassers auf die erste, erkaltete Erdkruste begann die mechanische und chemische Zerstörung kieselsaurer Mineralien, und sie hat seit jenen Anfängen während vieler Millionen von Jahren nach denselben Gesetzen fortgedauert, welche noch jetzt in der Zerstörung der Granite, Basalte oder Trachyte sich nachweisen lassen (S. 392). Vor Allem wurde durch die atmosphärische Kohlensäure, sobald sie durch herabfallendes, atmosphärisches Wasser mit den Urgesteinen in Berührung gebracht war, die Ausscheidung der Kieselsäure und die Bildung kohlensaurer

Digitized by Google

Salze aus den Basen dieser Gesteine begonnen. Wir sind vielleicht berechtigt, als das bedeutendste Zeugniß dieser Zersetzung allen kohlensauren Kalk anzuführen, welcher an der Erdoberfläche gefunden wird. Man mag die ältesten oder jüngsten Formationen der Erdrinde untersuchen, so tritt immer der Kalkstein als ein wesentliches Glied derselben auf; wir betrachten ihn als eine Verbindung der atmosphärischen Kohlensäure mit der Kalkerde kieselsaurer Mineralien. Seine Ablagerung geschah theils unmittelbar durch Niederschlag aus den Wassermassen der Erde, theils mittelbar durch thierische, mit Kalkskeleten versehene Organismen.

Wir haben gezeigt, daß kohlensäurehaltiges Wasser nur die Silikate der Alkalien und alkalischen Erden, des Kali's und Natrons, der Kalkerde und Bittererde zu zersetzen und in lösliche Verbindungen zu verwandeln vermag, daß dagegen der Thonerdegehalt der kieselsauren Mineralien fast durchaus, mit Kieselsäure verbunden, als unlöslicher Rest zurückbleibt. So erklärt es sich leicht, wie als zweites Glied in der Zusammensetzung der sedimentären Formationen die Thone, d. h. Verbindungen der Thonerde mit Kieselsäure und Wasser auftreten müssen. In diesen Thonen erreicht das geschichtete Gefüge der sedimentären Gesteine seine größte Entwicklung. Neben den Thonen mußte aber noch eine weitere Substanz bei der Zersetzung der ursprünglichen oder später entstandenen Mineralien ungelöst bleiben. Die feste Kieselsäure, der Quarz, bildet an sich schon einen Hauptgemengtheil der granitischen Mineralien; bei der Zerstörung dieser Gesteine beluden sich die Gewässer mit größeren und kleineren Quarztrümmern. Außerdem wurde bei der chemischen Zerlegung der Silikate durch Kohlensäure gewiß ein Theil der ausgeschiedenen Kieselsäure sogleich fest (S. 386), und bei fernerer Gesteinzertrümmerung diente dieser neuentstandene Quarz als neues Material zur Bildung von feineren oder gröberen Geschieben. Wo nun solche Quarzgeschiebe sich aus den Gewässern absetzten, fanden sie bald

Google

einen Kitt, welcher sie zu festem Gesteine verband, und zwar theils gelöste Kieselsäure selbst, theils kohlensauren Kalk, theils Thon; auf diese Weise entstanden aus den verbundenen Quarzkörnern die Sandsteine, welche, gleich den Kalksteinen und Thonen, in allen Formationen der Erdrinde auftreten.

Kalksteine, Thone und Sandsteine stellen also die drei letzten Produkte aller Zersetzung der Gebirgsarten dar. Wo man sedimentäre Gesteine untersuchen mag, da lassen sie sich unter eine jener drei Gesteinsarten unterordnen. Die Unterschiede der Kalksteine, Sandsteine oder Thone entspringen aus weniger wesentlichen Umständen. So ist die Zersetzung der früheren Gesteine bisweilen noch nicht vollendet, und es mischen sich der einen oder andern jener drei Arten noch unzersetzte oder halbzersetzte Brocken der früheren, zertrümmerten Gebirgsarten bei. Dann verhalten sich Kalke,, Thone und Sandsteine verschieden, je nachdem die eine Gesteinsart rein bleibt, oder sich den anderen in wechselnden Verhältnissen beimischt; so wird ein Gemenge von Kalk, Thon und Sand als Mergel bezeichnet. Ferner wechselt die Farbe der sedimentären Gebirgsarten sehr bedeutend. Sie rührt vornehmlich von jenem Eisen her, welches durch Zersetzung der kieselsauren Gesteine frei geworden und theils vom Wasser aufgelöst, theils unmitttelbar abgesetzt worden ist. Dieses Eisen färbt als einfaches Oxyd die Sandsteine und Thone roth; als Oxydhydrat bildet es die bräunliche, bald dunklere bald hellere Färbung vieler Kalke, Thone und Sandsteine; endlich bringt es, vielleicht als kieselsaures Oxydul, die grünliche und bläuliche Farbe mancher Thone oder Mergel hervor. Nächst dem Eisen ist als färbender Bestandtheil der Gebirgsarten halbzersetzte, thierische oder pflanzliche Substanz zu nennen. Wo Thone, Kalke oder Sandsteine sich durch eine grauliche oder schwärzliche Färbung auszeichnen, wo diese Färbung durch Glühen des Gesteines zerstört wird, da ist man berechtigt, Reste vorweltlicher Organismen unter der Form von thierischer oder pflanzlicher Kohle

Digitized by Google

als Grund der Färbung anzunehmen. So zieht sich durch die ganze, ungeheure Masse der sedimentären Gebirgsarten ein gemeinsamer Charakter in Form und Zusammensetzung hindurch. Viele Millionen von Jahren müssen verflossen seyn, seit das erste Gestein sich aus den Gewässern der Erdoberfläche abgesetzt hat; und doch sind jene ersten Absätze von den jetzigen weder chemisch noch physikalisch in wesentlichen Punkten verschieden. Dasselbe Bildungsgesetz hat die wäßrigen Absätze zu allen Zeiten der Erdbildung bestimmt. Verhält es sich ebenso mit den kieselsauren Mineralien? ist die Lava, welche jetzt aus den Kratern unserer Vulkane ausfließt, mit jenen Gesteinen wesentlich identisch, von welchen wir annehmen, daß sie aus der Erstarrung des feurigflüssigen Erdkernes anfänglich und später entstanden seien?

Unter allen Thatsachen, welche für die Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit der Bildung von Mineralien durch feurigen Fluß angeführt werden, ist die überzeugendste die völlige Uebereinstimmung jetziger Laven mit älteren Basalten und Trachyten. Die feurigflüssigen Massen, welche jetzt noch aus den Kratern der Vulkane ausfließen, lassen sich chemisch und physikalisch nicht von jenen Basalten und Trachyten unterscheiden, welche, außer allem Zusammenhange mit jetzigen Vulkanen, sich in den Klüften der älteren, tiefer liegenden Gebirgsformationen finden. Wie die jetzigen wäßrigen Absätze mit den ersten sedimentären Bildungen wesentlich übereinstimmen, so läßt sich von unseren Laven durch die Trachyte, Basalte, Phorphyre und Syenite eine ununterbrochene Reihe bis zu den ältesten Graniten verfolgen. Dieser ganzen Reihe von Gesteinen fehlt durchaus die Schichtung, und man begreift sie daher als die ungeschichteten, massigen Gebirgsarten. Nur unter einzelnen Umständen kann auch in diesen Gebirgsarten ein Schein von Schichtung entstehen; so, wenn aus demselben Vulkane Lavaströme zu verschiedenen Zeiten ausfließen und zu Lagen von verschiedenem Alter erstarren, welche sich schichtenartig bedecken; aber es fehlt

diesen Lagen die Gleichförmigkeit, der Parallelismus und die horizontale Oberfläche der Schichten.

Anders verhält es sich mit den Absonderungsformen der massigen Gebirgsarten. Wenn flüssige Substanzen fest werden, so ziehen sie sich immer auf einen kleineren Raum zusammen; wo nun diese Zusammenziehung nicht von der ganzen Masse der Substanz, theils wegen ihrer Größe, theils wegen ihres festen Zusammenhanges mit der Unterlage, ausgeführt werden kann, da muß die Zusammenziehung von einzelnen Punkten ausgehen und eine Zerreißung und Zerklüftung der erstarrten Substanz zur Folge haben. Diese Klüfte befolgen öfters in ihrem Verlaufe ein ganz bestimmtes Gesetz. Einmal löst sich von der erkaltenden Masse die äußerste, zuerst erstarrende Lage tafelartig ab, und indem diese Ablösung sich nach der Tiefe hin mehr oder weniger oft wiederholt, erhält das Gestein die plattenförmige Absonderung; diese unterscheidet sich von der Schichtung besonders durch die sehr begränzte Ausdehnung der Platten, durch ihr öfteres Verschmelzen zu ungetheilter Gesteinsmasse; Granit, Porphyr, Basalt bieten für diese Form häufige Beispiele dar. Bekannter und berühmter aber ist die andere, die säulenförmige Absonderung. Die fünf- bis siebenseitigen Säulen des Basaltes, eng aneinander gedrängt, erstrecken sich oft über ausgedehnte Räume und erreichen bisweilen eine Länge von 50, 70, bis zu 400 Fußen. Sie setzen an der Nordküste von Irland den Riesendamm zusammen, welcher 600 Fuß lang und an einigen Stellen 40 Fuß breit ist; sie bilden die Decke und die Wände der romantischen Fingalshöhle auf Staffa. Aber auch andere massige Gesteine, Trachyte, Porphyre und Granite, kommen säulenförmig abgesondert vor. Es gilt bei dieser Absonderung immer das Gesetz, daß die Säulen senkrecht auf jener Oberfläche der Gesteinsmasse stehen, von welcher die Erkaltung ausgegangen ist. Und dieß Gesetz läßt sich nicht nur an massigen Gebirgsarten, sondern auch an solchen Gesteinen nachweisen, die künstlichen

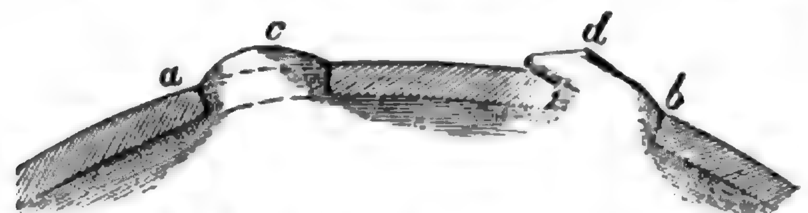
hohen Hitzegraden ausgesetzt sind. Sandsteine, welche zu Gestellsteinen in Hochöfen benützt werden, erleiden durch die Glut dieser Oefen zwar keine Schmelzung, aber doch eine theilweise Erweichung ihrer Masse; beim Wiedererkalten ziehen sie sich zusammen, und ihre Substanz zerklüftet sich jetzt auf solche Weise, daß die Sandsteinblöcke im Innern eine säulenförmige Absonderung annehmen. Diese Analogie mag als neuer Beweis dafür dienen, daß auch die Basalte, Trachyte, Porphyre und Granite ihre säulenförmige Absonderung einem Erkalten nach hoher Temperatur, einem Erstarren aus dem feurigen Flusse verdanken.

Wir haben die hervorragenden Charaktere der geschichteten und massigen Gebirgsarten jetzt erörtert. Aber alle diese Kennzeichen erklären sich am Ende nur aus dem verschiedenen Ursprunge der beiderlei Gesteinsgruppen. Wie wir die erste Kruste des Erdkörpers nur als ein massiges, granitisches Gestein denken, welches unmitelbar durch Erstarrung der Oberfläche des flüssigen Körpers entstanden ist, so müssen, nach der jetzt herrschenden Ansicht, alle massigen Gebirgsarten der Erdrinde als Ausfluß des ursprünglichen, feurigflüssigen Körpers der Erde betrachtet werden. Umgekehrt verdanken alle geschichteten Gebirgsarten ihren Ursprung wäßrigen Absätzen; ihre Substanz muß aus der Zertrümmerung und Zersetzung massiger Gesteine durch Wasser, Kohlensäure und Sauerstoff abgeleitet werden. Nach dieser Schilderung des durchgreifenden, von aller Zeit unabhängigen Unterschiedes der irdischen Gesteine ist es nöthig, an den Anfängen der Bildung einer Erdkruste wieder anzuknüpfen, und das Wachsthum und die Gestaltung dieser Kruste dem Auge vorzuführen.

Die äußerste Lage des feurigflüssigen Erdkörpers zog sich, wie jede festwerdende Substanz, bei ihrem Erstarren zusammen. Sie übte hiebei auf den übrigen, von ihr eingeschlossenen Erdkörper einen bedeutenden Druck aus, ohne jedoch die Masse des letzteren wirklich comprimiren zu können. Aber wenn die Zusammenziehung der erstarrenden Basalte und Trachyte eine

Digitized by Google

feine Zerklüftung ihrer Masse, eine platten- oder säulenförmige Absonderung hervorgebracht hat, so mußte noch viel mehr die erste Erdkruste einreißen, als sie sich über dem weder nachgebenden noch ausweichenden Erdkerne zusammenzog. Sie zer-



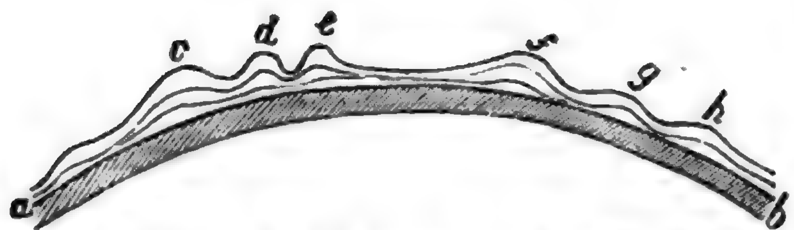
sprang an vielen Stellen (a, b) und durch ihre Spalten wurde die tropfbarflüssige Substanz des Erdinnern (c, d) hervorgepreßt; diese stieg zu verschiedenen Höhen empor, und an einzelnen Punkten floß sie auch seitwärts über die erste Kruste her (d). So schloß sich bei der anfänglichen Bildung einer Erdrinde das Innere nicht völlig gegen das Aeußere ab; die oberflächliche Erstarrung selbst hatte die Entstehung von offenen Kanälen für das Aufsteigen der innern, tropfbarflüssigen Masse zur Folge. Wie nun mit der fortschreitenden Erkaltung der Erde die Dicke ihrer erstarrten, massigen Kruste nach innen immer mehr wuchs, so wiederholte sich auch immer wieder das Einreißen der innersten, zuletzt erstarrenden Kruste. Der flüssige Erdkern ist in keiner Periode der Erdbildung völlig abgeschlossen gewesen; offene Klüfte haben immer seine Communikation nach außen und ebendamit das Aufsteigen seiner Substanz nach oben möglich gemacht; es war gerade die Zusammenziehung der innersten Kruste, durch welche immer die feurigflüssige Masse des Erdinnern hervorgedrängt wurde. Aus diesen Annahmen erklärt sich am leichteten das Auftreten massiger Gesteine zwischen jüngeren Schichten und sogar an der Oberfläche der sedimentären Ablagerungen; es erklärt sich daraus, wie tropfbarflüssige Gesteinsmassen noch jetzt den Mündungen der Vulkane entströmen können.

In demselben Maaße, in welchem die Erstarrung des feurigflüssigen Erdkörpers von außen nach innen fortschritt, lagerten sich an der Oberfläche der äußersten krystallinischen

Digitized by Google

Kruste immer neue sedimentäre Schichten ab. So wuchs die Dicke der Erdrinde langsam von innen und außen, dort durch direkten Uebergang flüssiger Mineralien in den festen Zustand, hier durch wäßrige Absätze gelöster und zertrümmerter Gesteine. Wenn die Anordnung der ungeschichteten Kruste und der horizontalen Gesteinschichten der Erdrinde nie eine Störung erlitten hätte, so wäre der endliche Erfolg aller dieser Processe nichts gewesen, als die Umgebung des feurigflüssigen Erdkernes mit einer festen, kugligen, enganschließenden Schale. Die innere Hälfte dieser Schale hätte dem Erdkörper selbst, die äußere den Gewässern der Erde ihren Ursprung verdankt. Die feste Schale wäre aber wiederum allerseits von einer gleichförmig vertheilten wäßrigen Hülle umgeben gewesen, und um diese hätte sich zu äußerst die Atmosphäre gelegt. Aber eine solche Einförmigkeit hat nie an der Erdoberfläche stattgefunden; schon in den frühsten Zeiten der Erdbildung wurde die Erdrinde gesenkt und gehoben und die Wassermassen der Erde durch Hervorragungen der festen Rinde unterbrochen. Sobald ein Theil der Erdrinde seine volle Festigkeit erhalten hatte, sobald in ihm die massige Kruste völlig erstarrt, die wäßrigen Absätze völlig ausgetrocknet waren, konnte jener Theil keine Ausdehnung oder Zusammenziehung mehr erleiden. Wo zusammenziehende oder ausdehnende Kräfte auf die festgewordene Erdrinde wirkten, mußte diese in ihrem Zusammenhange und in ihrer Anordnung gestört werden. Solche Störungen wurden vor Allem durch die fortschreitende Erstarrung des feurigflüssigen Erdkernes selbst hervorgebracht. Mit dieser Erstarrung war eine fortschreitende Zusammenziehung der tiefsten Lagen der Erdrinde gegeben, und dieser Zusammenziehung folgten die äußeren Lagen nicht mehr, sobald sie völlig fest geworden waren. So kam es, daß sowohl die massigen als die geschichteten Gesteinsmassen der Erdrinde sich falteten, daß sie an den einen Punkten, der Zusammenziehung des Erd-

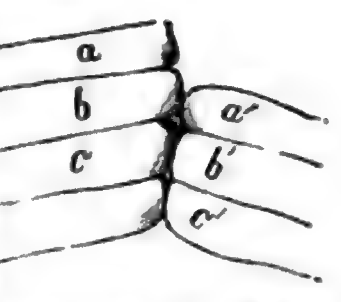
Digitized by Google



kernes (a b) folgend, einsanken, an andern Stellen sich zu schwächern (g, h) und stärkeren (c, d, e f) Erhebungen ausbildeten.

Seit der Erdkörper eine feste Rinde erhalten hat, dauert die Zusammenziehung des Erdinnern und die Faltung der Erdrinde ununterbrochen fort. Die Hebungen der Gebirge und die Senkungen des Meeresgrundes werden wohl am besten aus diesen Vorgängen abgeleitet. Faltungen der Erdrinde lassen sich nicht blos im Großen zur Erklärung der kolossalsten Erhabenheiten und Vertiefungen der Erdoberfläche hypothetisch annehmen; sondern sie sind auch auf kleineren Strecken, so in dem schweizer Jura und in den Alleghanies Nordamerika's deutlich nachgewiesen worden. Wo die Schichten der Gebirge ihre ursprüngliche, horizontale Lage verlassen haben, da muß die Ursache ganz oder zum großen Theile in ihrer Faltung gesucht werden. Die Schichten fallen bisweilen nur wenig ein; aber an anderen Punkten und vorzüglich in Hochgebirgen wird ihre Neigung bedeutender, und es kommen Schichten vor, welche völlig auf dem Kopfe stehen. Bei dieser Faltung konnte sich die Erdrinde natürlich nicht wie eine elastische oder leicht biegsame Masse verhalten. Wo die Biegungen zu stark wurden, brach die Erdrinde ganz oder theilweise durch, und es entstanden daraus neue Unterbrechungen und Störungen ihres Zusammenhanges. Vor Allem wurden diese Unterbrechungen der Grund jener Klüfte, welche als Gänge auf kürzere oder weitere Strecken die massigen und geschichteten Gebirge durchsetzen, und theils von werthlosen Gesteinen, theils von edlen Erzen ausgefüllt werden. Dann verließen aber die Schichtenköpfe, welche eine Kluft begränzten, häufig ihre bisherige Lage; die Schichten a, b, c kamen höher zu liegen, als die zugehörigen

Digitized by Google



Schichten a', b' und c', indem entweder die ersteren emporstiegen oder die letzteren sich senkten; Rutschflächen, Schliffe, Spiegel bezeichnen noch jetzt die Stellen, wo die Schichtenköpfe bei Veränderungen ihrer Lage an einander gerieben wurden. Endlich zersprangen die Falten der Erdrinde nicht selten an dem Punkte ihrer höchsten Wölbung; es entstanden daraus entweder nur oberflächliche, thalähnliche Einsenkungen (a), die sogenannten Erhebungsthäler, oder pflanzte sich die Spalte bis in die Tiefen der Erdrinde fort und diente dazu, die Communikation des Erdinnern mit der Erdoberfläche frei zu erhalten.

Aus diesen Thatsachen erklären sich jetzt mehrere Punkte in der Beschaffenheit der Erdoberfläche, auf deren Begründung früher noch nicht eingegangen werden konnte. Wir erwähnten (S. 344), daß die Thäler der Erdoberfläche zum größten Theile nicht der zertrümmernden, austiefenden Wirkung der Gewässer, sondern den Hebungen und Senkungen der Erdrinde selbst ihren Ursprung verdanken. Jetzt ist es klar, daß ausgedehnte Continente so gut als beschränkte Inseln, daß auf den Continenten selbst Gebirgsketten und Hochländer durch innere Ursachen, durch die Zusammenziehung des erkaltenden Erdkernes entstanden sind. Es hat nur von der Höhe und Breite der Falte abgehängt, ob große oder kleine Strecken über den Meeresspiegel und über das Niveau eines Continentes emporgehoben wurden. Gebirgsketten traten dort auf, wo die Falte in lineärer Richtung sich auf weite Strecken ausdehnte; Amerika gibt hiefür das mächtigste Beispiel. Hochländer hingegen entstanden durch eine ausgebreitetere, flächenartige Auftreibung der Erdrinde; Afrika und Asien sind auf diese Weise über dem Meeresspiegel emporgestiegen. Die In-

Digitized by Google

seln endlich, welche als Polynesien zusammengefaßt werden, stellen fast nur vereinzelte, bergartige Erhebungen dar, wie sie auch in der Mitte von Continenten, als die höchsten Spitzen ihrer Gebirge, häufig vorkommen. Die Natur der Gesteine und der Einfluß der Atmosphärilien haben indeß die Falten der Erdrinde nicht in jener Form fortbestehen lassen, welche sie nach ihrer ersten Bildung gezeigt hatten. Die aufgerichteten Schichten zerbrachen mannigfaltig, und die Gewässer der Erde wählten vorzüglich solche Lösungen des Zusammenhanges, um durch fortschreitende Zertrümmerung der Gesteine neue Thäler hervorzubringen. So kamen zu den ursprünglichen, großartigsten, durch Faltung entstandenen Thälern andere, welche stellenweise die Gebirgsschichten unterbrachen, die Spaltungsthäler im weiteren Sinne; zu ihnen müssen die Querthäler der Gebirge gerechnet werden. Indeß ist fast bei allen unseren Thälern, wie sie jetzt beschaffen sind, zwischen ihren ersten, aus Hebung und Senkung entstandenen Grundzügen und zwischen denjenigen Veränderungen zu unterscheiden, welche die Gewässer an ihnen hervorgebracht haben. Gegenüber von jenen Grundzügen erscheinen aber die nachträglichen Veränderungen immer untergeordnet. Thäler hingegen, welche nur durch die zertrümmernde Einwirkung der Gewässer entstanden sind, reine Erosionsthäler, können nur ganz oberflächlich und selten auf der Erde vorkommen.

Der zweite Punkt, welcher jetzt seine Erläuterung finden kann, ist die Entstehung und die Thätigkeit der Vulkane. Wenn Gebirgsarten in geschmolzenem Zustande, als feurigflüssige Laven aus den Kratern der Feuerberge ausfließen sollen, so müssen diese Krater mit den tiefsten Lagen der festen Erdrinde und mit dem feurigen Erdkerne selbst in Verbindung stehen. Es erhellt aus den bisherigen Erörterungen, daß bei der fortschreitenden Erstarrung des Erdkernes die innerste, flüssige Masse nie ganz abgeschlossen, sondern durch die Spalten der innersten Kruste immer von Neuem hervorgepreßt wird. Auf der an-

Digitized by Google

deren Seite wurde soeben gezeigt, daß die Faltung der Erdrinde eine vielfache Zerreißung und Zerklüftung derselben zur Folge hat. So bieten sich genug Klüfte dar, in welchen die Substanz des flüssigen Erdkernes, durch die Zusammenziehung der innersten Kruste und durch das Gewicht der darüber liegenden Erdrinde hervorgepreßt, bis zu verschiedenen Höhen emporsteigen kann. Nicht selten erstarren diese mineralischen Ströme auf ihrem Wege und füllen dann als aufgestiegene Massen die Gänge der Gebirge aus. Oder erreichen sie die Oberfläche, ehe sie völlig erstarrt sind, und dann treiben sie sich öfters, wenn sie aus weiten Spalten und in großer Masse emporsteigen, zu mächtigen, hochgewölbten Gebirgskuppen auf; so ist der Brocken des Harzes aus Granit entstanden, und in der Cordillerenkette erreichen die trachytischen Dome eine Höhe von 20,000 Fußen. Wo endlich die hebenden Kräfte bedeutend, die Mündungen der Spalten nicht zu hochgelegen sind, da können die Substanzen des Erdinnern noch in feurigflüssigem Zustande bis zur Erdoberfläche gelangen, und hier unter der Form von Laven ausströmen. Aber es gesellte sich zu diesen Ursachen der vulkanischen Ausbrüche allmählig und in steigendem Maaße noch eine andere.

Bei der Faltung der Erdrinde konnten die Lagen der massigen Kruste und die Schichten der sedimentären Gesteine unmöglich in jener innigen Berührung bleiben, welche bei einer ungestörten Bildung der Erdrinde natürlich gewesen wäre. Wie die Erdrinde durch senkrechte Spalten zerrissen wurde, so entstanden zwischen ihren Lagen horizontale Zwischenräume; und diese nahmen eine um so größere Ausdehnung an, je dicker die Erdrinde wurde, je weniger sie in allen ihren Lagen der Zusammenziehung des erstarrenden Erdkernes durch vollkommene Faltung nachgeben konnte. Diese Zwischenräume wurden zum Theile durch aufsteigende, flüssige Gesteine ausgefüllt, welche seitlich über die Schichten sich ausbreiteten; zum Theile sank von oben durch feine Spalten der Gebirge tropfbarflüssiges

Digitized by Google

Wasser bis zu bedeutenden Tiefen herab. Dieses Wasser, durch die Wärme der tiefsten Erdschichten in Dämpfe verwandelt, wurde zu einem gewaltigen Werkzeuge der Fortbewegung mineralischer Massen. Wir haben oben gezeigt, wie es dampfförmig aus den Kratern der Vulkane ausströmt, wie es feste Gesteinstrümmer bis zu bedeutenden Höhen emporschleudert, wie es endlich bei der Emporhebung der flüssigen Laven wesentlich mitwirkt. Zu den Phänomenen und Effekten der Faltung ist mit zunehmender Dicke der Erdrinde die Wirkung der Wasserdämpfe in immer höherem Grade hinzugekommen.

Endlich können wir jetzt die Erdbeben, die Hebungen und Senkungen, welche in geschichtlicher Zeit erfolgen, mit denselben Ursachen in Beziehung setzen, die von Anfange an Festländer und Gebirge erhoben, Meere und Thäler vertieft haben. Es ist die fortschreitende Faltung der Erdrinde, verbunden mit dem Einflusse unterirdischer Wasserdämpfe, was alle jene Bewegungen der Erdoberfläche hervorbringt. Beide Ursachen lassen sich in keiner der jetzigen Erscheinungen scharf von einander trennen; doch scheinen die sekulären Hebungen und Senkungen mehr der ununterbrochenen Faltung der Erdrinde, die ruckweisen, plötzlichen Niveauveränderungen, sowie die Erdbeben mehr der Combination jener Faltung mit dem Einflusse unterirdischer Wasserdämpfe ihren Ursprung zu verdanken. Man hat die ersteren Erscheinungen oft als plutonische, die letzteren als vulkanische bezeichnet.

Die ganze Physionomie der Erdrinde, ihre unveränderlichen Züge und ihre Bewegungen können also auf einfache Weise aus der fortschreitenden Erkaltung und Erstarrung des Erdkernes abgeleitet werden. Diese Ursache faltet die Erdrinde, und zu ihr kommt noch die Wirksamkeit des Wassers hinzu, welches theils die Hervorragungen und Tiefen der Erdoberfläche ausgleicht, theils in Dampfform die Bewegungen der Erdrinde stürmischer macht und aus den Kratern der Vulkane mit großer Gewalt Auswürflinge hervortreibt. Wie wir früher

Digitized by Google

die äußere Form und die innere Zusammensetzung der geschichteten und der massigen Gebirgsarten durch alle Perioden der Erdbildung hindurch als wesentlich gleich geschildert haben, so kommen nun die Faltungen der Erdrinde als gleichbleibende, von den Zeitperioden nicht wesentlich veränderbare Vorgänge hinzu. Aber es ist nothwendig, jetzt auch dasjenige ins Auge zu fassen, was der Entwicklungsgeschichte der Erdrinde ihren eigentlichen Charakter aufprägt, jenes Veränderliche in den Erscheinungen, welches, wie wir früher erwähnten, gleichfalls einen bestimmten, gesetzmäßigen Gang einhält.

Es kann gar kein Zweifel sein, daß die Erdrinde, wie wir sie jetzt kennen, nicht in kurzer Zeit, nicht durch einmalige Erstarrung des Erdkernes und durch einmaligen Absatz aus den Gewässern entstanden ist. Viele Millionen von Jahren sind verflossen, seit unser Planet seine erste Rinde erhielt, und seither hat der Erdkern nicht aufgehört zu erstarren; aus den Gewässern der Erde hat sich bald da bald dort neue Substanz abgesetzt; Hebungen und Senkungen sind an verschiedenen Orten und in abwechselnder Weise erfolgt. Es ist Aufgabe der Geologie, das Alter dieser Vorgänge zu bestimmen, und in dieser Beziehung bieten die Schichten der Erdrinde den vorzüglichsten Anhaltspunkt dar. Hier gilt im Allgemeinen die Regel, daß die tiefsten Schichten als die ältesten gelten; daß man, je weiter man in der Erdrinde emporsteigt, zu immer jüngeren Schichten gelangt. Wäre nun die Aufeinanderfolge und die Mächtigkeit der Schichten an allen Punkten der Erdrinde dieselbe, wäre es möglich, die einzelnen Schichten durch alle Continente von Stelle zu Stelle aufzudecken und zu verfolgen, so könnte die Altersbestimmung der Schichten keine großen Schwierigkeiten haben. So aber trifft keine der soeben gemachten Voraussetzungen zu; und dazu kommt, daß die physikalische und chemische Beschaffenheit der Schichten durch ihr Alter nicht wesentlich verändert wird. Es mußten daher bestimmtere Kennzeichen für das Alter der Schichten aufgesucht werden, und diese fanden sich aufs

Digitized by Google

Reste in den fossilen Organismen der Gebirgsschichten. Wie in der jetzigen Ordnung der Dinge die Form der organischen Körper sich theils durch Verkohlung theils durch Versteinerung bis zu einem gewissen Grade erhält, so finden sich auch in den früheren Schichten der Erdrinde theils verkohlte theils versteinerte Pflanzen und Thiere wieder.

Wir haben schon beim Torfe erwähnt, daß die Verkohlung der Organismen in einer zunehmenden Firirung des Kohlenstoffes und in einer allmähligen Ausscheidung der übrigen Elementarstoffe der Thiere und Pflanzen begründet ist, daß insbesondere bei den verkohlenden Pflanzen der Sauerstoff als Kohlensäure, der Wasserstoff als Kohlenwasserstoff weggeht. Dieser Verkohlungsproceß ist bei den Braunkohlen und Steinkohlen der Erdrinde kein anderer gewesen, als bei dem Torfe, welcher sich unter unsern Augen bildet. Aber auch die äußeren Bedingungen des Processes blieben sich zu allen Zeiten der Erdbildung völlig gleich. Göppert hat in neuster Zeit nachgewiesen, daß Pflanzen, welche längere Zeit unter Wasser bei Zutritt von atmosphärischer Luft und bei einer höheren Temperatur von 60°—100° aufbewahrt werden, nach Einem, theilweise erst zwei Jahren in ein Produkt übergehen, welches mit den Braunkohlen die größte Aehnlichkeit hat. Setzte Göppert der Flüssigkeit noch sehr kleine Mengen von schwefelsaurem Eisenorydul zu, so gelang es, durch dieses Salz, welches sich wohl in Schwefeleisen, eine in Kohlenlagern sehr gewöhnliche Verbindung, umwandelte, den behandelten Pflanzen wirklich die Beschaffenheit der festen, glänzenden Steinkohlen zu geben. Die hohe Temperatur, welche Göppert anwandte, hat nun freilich die Bildung der natürlichen Braunkohlen und Steinkohlen ohne Zweifel nicht begleitet; aber sie wirkte in jenen Versuchen auch nicht als die Hauptursache der chemischen Umsetzung. Um Veränderungen, zu denen die Natur Millionen von Jahren bedarf, in kurzen Zeiträumen nachzuahmen, muß der Naturforscher oft die Unterstützung der Wärme suchen; nur diese Bedeutung

Digitized by Google

hatte die Wärme in Göpperts Experimenten. Es kann demnach als bewiesen gelten, daß alle Braunkohlen und Steinkohlen in langen Zeiträumen aus der unvollkommenen Zersetzung von Pflanzen bei Gegenwart von Wasser und bei mangelhaftem Luftzutritte hervorgegangen sind. Die Verkohlung erreichte bald einen geringeren, bald einen höheren Grad. Wenn mit dem Torf, als der unvollkommensten Kohle, begonnen wird, so steigt die Reihe durch die Braunkohlen auf zu den Steinkohlen, und als die vollkommenste Pflanzenkohle erscheint der Anthracit, jene mineralische Holzkohle Werner's, welche trotz der dichten Beschaffenheit und dem Mangel der Pflanzenstruktur doch immer als ein vegetabilisches Produkt betrachtet werden muß. Der Proceß der Verkohlung ist in den Lagern der Braunkohlen und Steinkohlen auch dann noch fortgeschritten, nachdem sie von neuen Schichten der Erdrinde bedeckt worden waren. Daher rühren jene Ausströmungen von Kohlenwasserstoffgas, welche in den Steinkohlenbergwerken als schlagende Wetter gefährlich werden. Aus solchen unterirdischen Zersetzungen von Pflanzensubstanz ist auch jenes Kohlenwasserstoffgas zu erklären, welches an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche, und vorzüglich in der Nähe des kaspischen Meeres, aus Spalten der Erdrinde hervorströmt und als das ewige Feuer von Baku eine größere Berühmtheit erlangt hat. Auch das flüssige Erdöl und der feste Asphalt sind Kohlenwasserstoffe, welche der Verkohlung organischer Stoffe ihren Ursprung verdanken.

Wie die Bildung der Braunkohlen, der Steinkohlen und des Anthracites sich an die Entstehung unseres Torfes wesentlich anschließt, so zeigen auch die älteren Versteinerungen der Erdrinde keine wesentliche Verschiedenheit von jenen Petrefakten, welche sich noch jetzt an der Erdoberfläche unter Vermittlung der Gewässer bilden. Immer findet sich in den fossilen Theilen ausgestorbener Organismen die organische Substanz mehr oder weniger vollkommen entfernt. Aber nur dort, wo die Knochen der höheren Thiere, die Schalen der Muscheln,

die Stämme und Samen verschiedener Pflanzen ihre Verwesung unter Wasser erlitten haben, wird die austretende organische Substanz durch mineralische Stoffe ersetzt, d. h. wirklich versteinert. Knochen, Muschelgehäuse, Korallenstöcke, welche außerhalb des Wassers, in oder auf der Erdrinde verwesen, erleiden nur die sogenannte Calcinirung, eine Verwitterung, bei der jene Körper ihre organischen Bestandtheile verlieren, und eine bleiche Farbe, ein geringeres Gewicht und eine rauhe, matte Oberfläche erhalten. Die Versteinerung selbst zeigt wieder verschiedene Grade. Bei ihrer vollkommensten Ausbildung werden die festen organischen Theile mit ihrer äußeren Form und mit ihrer inneren Struktur durch Umwandlung in Stein deutlich erhalten. Dann geht aber auch sehr häufig ein größerer oder kleinerer Theil der organischen Form durch die Verwesung völlig verloren. Es bleibt dann im Gesteine bisweilen nur ein Abdruck der äußeren Oberfläche oder ein Steinkern, d. h. die Ausfüllung und der Abguß der Körperhöhle übrig. Endlich kann vom Thiere selbst an einer Stelle jede Spur verschwunden sein; aber in den Thonschichten, welche das Thier, als sie noch Schlamm waren, betreten hatte, lassen sich noch seine Fußstapfen als Eindrücke erkennen, und man schließt aus diesen Fährten, daß hier einst ein Reptil, ein Vogel oder ein Säugthier gewandelt sei.

Gegenüber von den mineralischen Bestandtheilen der Erdrinde sind die fossilen Reste der Organismen die eigentlichen Urkunden, die „Denkmünzen“ der zurückgelegten Epochen der Erdbildung. Thon, Sandstein und Kalk wiederholen sich durch alle Schichten der Erdrinde hindurch mit geringen Abweichungen; aber von den organischen Arten hat keine einzige in allen Erdschichten Spuren hinterlassen. Vielmehr sind, seit Organismen die Erde bewohnen, immer alte Formen ausgestorben und durch neu entstehende ersetzt worden; erst seit der Mensch geschaffen ist, hat die Entstehung neuer Formen völlig aufgehört. Wo man die Erdrinde auch geöffnet hat, ist die Aufeinanderfolge

Digitized by Google

der organischen Formen immer dieselbe gewesen; es gelten daher mit Recht alle diejenigen Erdschichten für gleichalt, welche die Spuren derselben organischen Geschöpfe enthalten. So ist es gelungen, fast alle Schichten der Erdrinde in eine einzige, sichere Reihe zusammenzustellen, von welcher die ältesten Ablagerungen den Anfang und die Bildungen der Jetztzeit den Schluß bilden. Aus dieser Schichtenfolge ergibt sich ferner mit ziemlicher Sicherheit das Alter der massigen Gesteine; denn man kann mit Bestimmtheit behaupten, daß eine massige Gebirgsart, z. B. Basalt oder Granit, jünger sein müsse, als eine Schichte, in deren Spalten jenes Gestein eingedrungen, oder über deren Oberfläche es im heißen Zustande hergeflossen ist. Benützt man auf diese Weise die fossilen Pflanzen und Thiere, um das Alter der geschichteten und ungeschichteten Gebirgsarten zu bestimmen, so lassen sich noch außerdem an der einen oder andern Gebirgsart manche physikalische Eigenthümlichkeiten auffinden, welche mit dem Alter derselben in einer bestimmten Beziehung stehen.

Was zuerst die massigen Gesteine betrifft, so fällt es auf, daß diejenigen unter ihnen, die man mit gutem Grunde für die zuerst erstarrten halten zu dürfen glaubt, ein geringeres specifisches Gewicht besitzen, daß hingegen die Laven, welche jetzt noch aus den Kratern unserer Vulkane sich ergießen, daß überhaupt die neuesten massigen Gesteine die specifisch schwereren sind. Zu jenen gehört Granit und Syenit mit 2½ bis $2^{8}/_{10}$ specifischem Gewicht, zu den letztern der Trachyt und Basalt mit einem Gewichte, das von $2^{8}/_{10}$ bis über 3 sich erhebt. Denkt man sich den Erdkörper in seinem ursprünglichen, feurigflüssigen Zustande, so darf angenommen werden, daß in der flüssigen Masse die leichteren Stoffe sich mehr nach oben gedrängt, die schwereren sich mehr gesenkt haben. So wäre die leichtere Substanz der Granite und Syenite an die Oberfläche des Erdkörpers gekommen; sie bildete erkaltend die erste Kruste desselben und stieg auch in den Spalten der Erdrinde

Digitized by Google

zuerst auf. Erst später, als die Erstarrung tiefer hinabdrang, kamen schwerere, trachytische und basaltische Substanzen an die Reihe, und diese bilden noch jetzt das Material, aus welchem die Laven der Vulkane zusammengesetzt sind.

Unter den geschichteten Gesteinen müssen vor Allem die ältesten, auf Granit aufliegenden Gebirgsarten erwähnt werden. Die tiefsten und ältesten Thone, die sogenannten Thonschiefer, unterscheiden sich von späteren, sonst ähnlichen Thonen durch ihre größere Dichtigkeit und Härte. Sie sind im Allgemeinen auch als Zersetzungsprodukte von Urgebirgsarten, namentlich von Granit anzusehen; aber nicht selten ist die Zersetzung in diesen ältesten Absätzen nicht bis zu ihrer äußersten Gränze fortgeschritten, und es gelingt, in den Thonschiefern außer dem Thone noch unveränderte Mineralien, z. B. Quarz und Glimmer, fein vertheilt nachzuweisen. Auf der andern Seite aber geht der Thonschiefer durch unmerkliche Zwischenstufen in Gebirgsarten über, welche nicht mehr das Ansehen von festgewordenen Schlammabsätzen, sondern durchaus eine krystallinische Struktur haben. So verläuft sich der Thonschiefer allmählig in den Glimmerschiefer, der ganz aus Quarz und Glimmer besteht, und in den Gneiß, welcher außer Quarz und Glimmer noch Feldspath enthält. In diesen Gesteinen kommt kein unkrystallinisches, mechanisch abgesetztes Mineral mehr vor; aber Gneiß und Glimmerschiefer haben mit dem Thonschiefer und mit den sedimentären Gesteinen überhaupt die deutliche Schichtung gemeinschaftlich. Wie diese Gebirgsarten sich an die Thone anschließen, so kommt andrerseits ihnen, und vorzüglich dem Gneiße, eine vorzügliche Aehnlichkeit der krystallinischen Struktur mit dem Granite zu. Gneiß, Glimmerschiefer und die verwandten Talkschiefer, Chloritschiefer und Hornblendeschiefer stehen auf diese Weise in der Mitte zwischen sedimentären und massigen Gesteinen; mit jenen theilen sie die Schichtung, mit diesen die deutliche krystallinische Struktur. Dieser Widerspruch hat viele Geologen bestimmt, die

Digitized by Google

krystallinischen Schiefergesteine als metamorphische, d. h. als solche zu betrachten, die seit ihrer ersten Entstehung wesentliche Abänderungen erlitten haben.

Die metamorphischen Gesteine gehören nach dieser Ansicht zu den sedimentären Gebirgsarten; aber durch langwirkende und kräftige Ursachen sind ihre Bestandtheile in eine andere Lage gebracht, aus dem schlammähnlichen, unkrystallinischen Zustande in den krystallinischen übergeführt worden. Dieser Metamorphismus der Gebirgsarten findet sich insbesondere an denjenigen Stellen, wo die gehobenen und zerspaltenen sedimentären Gesteine mit aufgestiegenen massigen Gesteinen, wie Granit, Syenit, Basalt und Porphyr, in genaue Berührung treten. Er ist daher eigentlich von dem Alter der Schichten unabhängig; aber er scheint in den ältesten Schichten am häufigsten vorzukommen, weil hier die Berührung massiger und sedimentärer Gebirgsarten am längsten und in der größten Ausdehnung besteht. Wie sedimentäre Gesteine, wie vornehmlich Thonschiefer zu krystallinischen Gesteinen sich umwandeln, ist wohl chemisch zu begreifen; aber es wird schwer, die Ursachen und näheren Bedingungen der Umwandlung zu erforschen; es genügt hier keine der beiden Mächte der Geologie, weder hohe Temperatur noch Wasser, vollständig. Das Phänomen selbst aber scheint nach allen neueren Beobachtungen unzweifelhaft; es würden durch dasselbe nicht blos Thonschiefer in Glimmerschiefer, Gneiß und Hornblendeschiefer, sondern auch dichte Kalksteine in körnigen, sogenannten Urkalkstein, in Marmor umgewandelt worden sein. Wenn nun wirklich alle krystallinischen, geschichteten Gebirgsarten eine solche tiefe Umwandlung erlitten haben, wenn Gneiß z. B. und Glimmerschiefer keine ursprünglichen, unveränderten Gesteine sind, so dienen diese metamorphischen Gebirgsarten als deutliche Beweise sowohl für die Macht der umwandelnden Ursachen, als für die langen Zeiträume, welche die Umwandlung zu ihrem Zustandekommen bedurft hat. Gneiß und Glimmerschiefer sind es, die neben dem Granit an der

Zusammensetzung der Hochgebirge aller Continente den überwiegendsten Antheil nehmen; sie treten ebensogut in den Alpen der Schweiz und Skandinaviens, als in Amerika und im Himalaya als mächtige Gebirgsmassen und in bedeutenden Höhen auf. Es muß künftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben, ihre Entstehung besser, als es bis jetzt möglich war, ins Licht zu setzen.

Wir haben hier einige Merkmale angedeutet, welche, abgesehen von den organischen Einschlüssen, das Alter der massigen und geschichteten Gesteine bisweilen errathen lassen. Aber in die eigentliche Bildung unserer Continente ist mit allem diesem noch kein Blick gethan. Es kann erst das Resultat der Anwendung aller geologischen Hülfsmittel sein, den Weg zu bezeichnen, auf welchem unsere Erdoberfläche zu ihrer jetzigen Gestalt, zu ihren jetzigen Verhältnissen von Festem und Flüssigem gelangt ist. Wir versuchen jetzt, diese Ausbildung der Continente und Meere darzustellen.

Es ist oben (S. 313) gezeigt worden, daß die jetzige Vertheilung des Festen und Flüssigen an der Erdoberfläche einen bestimmten Sinn, eine bestimmte Regel in sich erkennen läßt. Schon hieraus läßt sich vermuthen, daß die Vorgänge, welche zu dieser Vertheilung allmählig geführt haben, nicht nach zufälligen äußeren Bedingungen, sondern nach einem inneren Gesetze und mit einem bestimmten Ziele erfolgt sind. Wie an den organischen Körpern Festes und Bewegliches während der verschiedenen Zeiten ihres Lebens in verschiedene Verhältnisse zu einander treten, so haben die Beziehungen zwischen fester Erdrinde und tropfbarflüssiger Hülle während der Epochen der Erdbildung mannigfach gewechselt, und es sind verschiedenartige Zustände vorübergegangen, bis endlich die jetzige Physionomie des Erdkörpers mit ihren dauernden und veränderlichen Zügen erreicht war. Die Mittel aber, durch welche diese Wechsel der Physionomie zu Stande gebracht wurden, waren nichts anderes, als die Hebungen und Senkungen, die

Digitized by Google

noch jetzt an der Oberfläche unseres Planeten fortdauern. Durch diese stiegen oder sanken die Schichten der sedimentären Gesteine, und geschmolzene Massen drangen durch die Spalten der Schichten zur Oberfläche hervor. Indessen wechselte die Ordnung des Steigens und Sinkens in verschiedenen Zeiträumen der Erdbildung; Festländer, welche längere oder kürzere Zeit über die Meeresfläche emporgeragt hatten, tauchten wieder unter, und an ihrer Stelle wurden neue Theile des Meeresbodens über den Wasserspiegel erhoben. Aus diesem Grunde muß unsere Kenntniß von den früheren Continenten und Inseln der Erdoberfläche immer mangelhaft und schwankend bleiben; denn von dem jetzigen Meeresboden wissen wir nicht, wie große und welche Theile desselben früher über die Meeresfläche emporgeragt haben. Wir erkennen nur an der Schichtung und an den organischen Einschlüssen der jetzigen Festländer, daß sie früher oder später und länger oder kürzer von gesalzenen oder süßen Gewässern bedeckt waren.

Aus dem ursprünglichen Meere, welches den Erdkörper anfangs ohne Unterbrechung bedeckte, erhoben sich zuerst vereinzelte, zahlreiche Inseln. Die Faltung der dünnen Erdrinde geschah damals ohne Schwierigkeit; die Falten entstanden gleich gut an vielen Punkten und stiegen daher auch zu keiner bedeutenden Höhe an. Niedere Inseln standen als Festländer dem ungeschiedenen, mäßig tiefen Meere gegenüber. Es fehlten diesen Inseln große, raschbewegte Ströme; stehende Wasser mögen dagegen nicht selten gewesen sein. Um diese niederen Inseln wieder unter den Meeresspiegel zu versenken, bedurfte es keiner großen Revolutionen. Diese erste, insuläre Bildung der Erdoberfläche umfaßt unter den Gebirgsformationen der Erdrinde die drei ersten, nämlich das silurische System, das Kohlengebirge und das permische System. Das letzte, welches auch als die Formation des Zechsteins und Kupferschiefers bezeichnet wird, machte zu der folgenden Stufe den allmähligen Uebergang. Man vermuthet, daß in jener ersten

Periode von europäischen Länderstrecken der Hundsrücken, die Belchen der Vogesen, mehrere Theile Großbritanniens und vorzüglich die skandinavische Halbinsel über den Meeresspiegel hervorgeragt haben.

Indeß stiegen neue, ausgedehntere Strecken von Festland empor; andere versanken an ihrer Stelle. In Deutschland mögen Schwarzwald und Vogesen, Böhmerwald, Thüringerwald und Erzgebirge sich ausgebildet haben. Dann folgten aber schon größere Gebirgszüge, der Monte Viso, die Pyrenäen und Apenninen. Einzelne der anfänglichen Inseln verschwanden wieder; es entwickelte sich allmählig zusammenhängendes Festland und begränzte Meere. Der Meeresgrund vertiefte sich, und in demselben Maaße stiegen höhere Gebirgszüge über den Meeresspiegel empor. Die Faltungen der Erdrinde wurden mit dem Dickerwerden derselben schwieriger; daher erfolgten sie an weniger zahlreichen Stellen, aber hier um so gewaltiger und ergiebiger. Von den höheren Gebirgszügen entsprangen süße Gewässer, welche in raschem Laufe sich den Tiefländern zubewegten, und zuletzt, zu Flüssen verbunden, sich ins Meer ergoßen. Auch in dieser zweiten Periode müssen drei Glieder unterschieden werden, zu unterst die Trias mit buntem Sandstein, Muschelkalk und Keuper, dann der Jura mit seiner untersten Abtheilung, dem Lias, und als oberstes Glied die Formation der Kreide. Die Kreide schließt die zweite Periode ähnlich ab, wie das permische System die erste; die hauptsächlichen Grundzüge der Continente waren angelegt; es war noch ihre vollständige Gestaltung übrig.

Die letzte Vollendung der Gestalt der Erdoberfläche war der tertiären Periode vorbehalten. Zu jener Zeit der Erdbildung, wo ausgedehnte Strecken der Erdoberfläche, nachdem sie sehr lange vom Meere bedeckt gewesen waren, langsam emporstiegen und für große Zeiträume oder für immer sich in Festland verwandelten, zu jener Zeit der langsamen und

Digitized by Google

allmähligen Veränderungen konnten sich auf dem Meeresgrunde mächtige und ausgebreitete Schichten von Thon, Kalk und Sandstein absetzen, wie wir sie jetzt in den älteren Formationen der Erdrinde antreffen. Aber je dicker die Erdrinde wurde, desto mehr befestigte sich die Gestalt der Continente; die alten sanken nicht mehr so leicht, und neue tauchten nicht mehr in solcher Ausdehnung über das Meer empor. Die Faltung der Erdrinde brachte an den einen Stellen nur schwache Erfolge hervor, wie sie jetzt noch in langsamen Senkungen und Hebungen beobachtet werden; aber an anderen Stellen mußte der Erfolg der Faltung um so mächtiger und gewaltsamer hervortreten. Ganze Continente, welche schon gebildet waren, stiegen noch höher über das Meer empor; in ihrer Mitte richteten sich die Gebirgsschichten zu großer Höhe auf, und feurigflüssige Massen drängten sich in kolossalen Spalten bis zu den höchsten Gipfeln; so entstanden großartige Gebirgsmassen. Festländer und Meere wurden durch solche Vorgänge gewaltig erschüttert. Meeresfluthen und süße Gewässer überschwemmten die Festländer, und bedeckten sie mit Trümmern der älteren Gebirgsgesteine. Aber zu regelmäßigen Ablagerungen kam es auf den Festländern immer weniger; an ihrem Rande vorzüglich entstanden neue Schichten, welche sich später gleichfalls hoben und den Continenten anschloßen.

Diese Umwandlung in den geologischen Processen charakterisirt die tertiäre Zeit; der Uebergang zu der jetzigen Ordnung der Dinge wurde durch sie allmählig vermittelt. In jene Zeit scheint die Bildung der höchsten und wichtigsten Gebirge der Erde gefallen zu sein. Zuerst erhoben sich die westlichen Alpen, dann die Kette der Hauptalpen vom Wallis bis nach Oestreich; die Gleichheit der Richtung, welche den Kaukasus und vornehmlich den Himalaya mit der Hauptalpenkette verbindet, läßt auch für diese mächtigen Gebirgssysteme die gleiche Zeit der Bildung vermuthen. Die letzte Gebirgskette, welche in größter Ausdehnung aus dem Meere oder aus der Fläche

Digitized by Google

von Continenten emporstieg, waren die Cordilleren. So entstanden nacheinander alle jene Gebirgsmassen, an welche sich jetzt unsere Continente anlehnen. Sobald hohe Gebirge und ausgedehnte Festländer gebildet waren, flossen größere Ströme dem Meere zu, und es begannen in großem Maaßstabe jene Trümmerabsätze an den Küsten, von welchen noch jetzt die Geschiebebänke und die Deltabildungen deutliche Beispiele geben. Daher wechseln in den meisten tertiären Lagern Meer- und Süßwasserbildungen miteinander ab; daher stellen aber auch die tertiären Schichten mehr nur lokale Bildungen dar und treten an Ausdehnung und Mächtigkeit weit hinter die älteren Formationen zurück. Zu den ältesten tertiären Bildungen gehören die Becken von Paris und London; jünger ist die Molasse und Nagelfluh der Schweiz und Oberschwabens; die jüngsten Bildungen werden insbesondere durch die Subapenninenformation Toscana's und Piemont's repräsentirt. Zu oberst endlich liegen unter den Bildungen der historischen Zeit jene unzusammenhängenden Gesteinstrümmer, welche man als Diluvium zusammenfaßt. Sie erscheinen theils in den Thälern der jetzigen Ströme, theils als Bedeckung großer Ebenen, wie der Tiefländer Südamerika's, theils als Ausfüllung von Spalten und Höhlen der Gebirge. In alle diese wäßrigen Absätze klangen aber schon damals vulkanische Phänomene hinein; wie jetzt, erschütterten Erdbeben weite Strecken der Erdrinde; an der Spitze von Bergkegeln öffneten sich Krater und ergoßen schon in vorgeschichtlicher Zeit ihre Laven über die umliegenden Gegenden.

Diese Ausbildung der Erdoberfläche ist zwar allmählig, aber gewiß nicht mit unmerklichen Uebergängen erfolgt. Großartige Veränderungen, plötzliche Hebungen und Senkungen weiter Strecken des Festlandes unterbrachen ohne Zweifel die Perioden der langsameren Umbildung und bezeichneten die größeren Zeitabschnitte der Erdentwicklung. Wir folgen hierin, wie in der Aufeinanderfolge der Hebung gewisser Gebirgs-

Digitized by Google

systeme vorzüglich den Angaben Elie de Beaumont's. Aber es sind die beigebrachten Thatsachen jetzt auch genügend, um den Gang der Entwicklung der Erdoberfläche mit wenigen, allgemeineren Linien zu zeichnen, um hier noch einmal an jenes frühere Kapitel anzuknüpfen, wo wir die jetzige Erdoberfläche schilderten und das Eigenthümliche der einzelnen Continente als einen Ausfluß der Individualität des Erdganzen darzustellen versuchten (S. 314).

Wenn man von einer Entwicklung des Erdkörpers spricht und diese mit der Entwicklung anderer Geschöpfe, z. B. der Pflanzen und Thiere zusammenhält, so läßt sich doch von einem wesentlichen Gliede der Entwicklung der Organismen, von dem Wachsthume beim Erdkörper nicht wohl sprechen. Denn die sedimentären Schichten desselben bestehen zu so großem Theile nur aus Trümmern der massigen, dem Erdkörper eigenthümlichen Gesteine, daß die mit ihnen verbundenen atmosphärischen Bestandtheile, Kohlensäure und Sauerstoff dagegen kaum in Betracht kommen. Aber ein anderer Punkt, nämlich die äußere Form, erlaubt ohne falsche Analogiesucht eine Vergleichung zwischen der Erde und den nächstliegenden Organismen. Es sind innere Ursachen, welche hier wie dort die Oberfläche verändern, falten und runzeln, auftreiben oder einziehen. Es wird bei der Erde, wie beim Thiere, ein Punkt erreicht, wo die Gestalt soweit befestigt ist, daß sie nur noch kleine Abänderungen erleidet. Wie die Erde zu diesem Punkte gelangt ist, soll jetzt zu zeigen versucht werden. Im Anfange der Erdbildung, wo die gestaltenden Kräfte an der dünnen Erdrinde einen leicht formbaren Stoff fanden, trieben sie an zahlreichen Stellen ohne Schwierigkeit gleichmäßige Falten hervor, und ließen eben so leicht die entstandenen Hebungen wieder unter den Meeresspiegel versinken. Aber mit der zunehmenden Dicke und Festigkeit der Erdrinde wurde ihre Faltung schwieriger; neue Falten entstanden an wenigeren Punkten, und die älteren erlangten immer mehr Beständigkeit. Dadurch wurde der Ein-

Digitized by Google

fluß der gestaltenden Kräfte im Allgemeinen geringer, und nur an einzelnen Punkten concentrirte er sich, um hier desto mächtigere Effekte hervorzubringen. So befestigten sich die Continente; Höhen und Tiefen traten einander immer schroffer gegenüber, und als diese Gegensätze sich entschieden herausgebildet hatten, begann die Periode, in welcher wir jetzt leben, die Zeit der vollendeten und nur wenig wechselnden Gestalt unseres Erdkörpers. Es ist also der Gegensatz zwischen Hoch und Tief, der eigenthümliche Charakter der einzelnen Continente und der von ihnen umschlossenen Meeresbecken, auf was die ganze Entwicklung unseres Erdkörpers hinzielte. Wie aber diese Entwicklung mit der geringsten Ausprägung jener Gegensätze und Eigenthümlichkeiten anfing, so war es überhaupt mit allen Gegensätzen und Eigenthümlichkeiten, welche jetzt in dauernder Weise an der Erdoberfläche beobachtet werden: sie kehrten sich mit der fortschreitenden Erdbildung immer deutlicher und schärfer heraus. Es müssen in dieser Beziehung zunächst die klimatischen Verhältnisse näher untersucht werden.

Die hohe Temperatur des feurigflüssigen Erdkernes, welche jetzt auf die Wärme der Erdoberfläche kaum einen merklichen Einfluß ausübt (S. 233), mußte in jenen Zeiten, wo nur eine dünne Rinde den Erdkern überzog, weit energischer nach außen wirken. Diese von innen kommende, unserem Planeten eigenthümliche Wärme hat ohne Zweifel am Anfange der Erdentwicklung alle Punkte der Oberfläche gleichmäßig und bedeutend erwärmt; sie war von jenem Gegensatze zwischen Polen und Aequator, der die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen so bedeutend abändert, völlig unabhängig. Dazu kam aber noch ein Zustand der Atmosphäre, welcher die Wirkung der Sonne auf die Erdoberfläche sehr vermindern, vielleicht anfänglich ganz ausschließen mußte. Wir haben gezeigt, daß alles Wasser, was jetzt in tropfbarflüssiger Gestalt den Erdkörper einhüllt, und alle Wasserdämpfe, welche jetzt in der Erdatmosphäre schweben, der ursprünglichen Atmosphäre unseres

Digitized by Google

Planeten in Gas- oder Dampfform angehört haben. Diese Atmosphäre war daher an Wasser unverhältnißmäßig reicher als die jetzige, und dichte Wolken- und Nebelmassen verdunkelten durch Abhaltung der Sonnenstrahlen die anfängliche Erdoberfläche. Allerdings klärten die ersten Regengüsse, durch welche tropfbarflüssiges Wasser auf den Erdkörper gelangte, die Atmosphäre etwas auf; aber sie blieb doch während der ersten Periode der Erdbildung viel wolkenreicher und düsterer. So kam es, daß in der Zeit des silurischen Systems, des Kohlengebirges und der permischen Formation die Gegensätze völlig fehlten, die an die verschiedene Einwirkung der Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche, an die Unterschiede der Zonen und Jahreszeiten (S. 287 ff.) geknüpft sind. Während der zweiten Periode, welche die Trias, den Jura und die Kreide in sich schließt, wuchs die Dicke der Erdrinde und verminderte sich durch atmosphärische Niederschläge der Wassergehalt der Atmosphäre. So mußte der Einfluß der inneren Erdwärme auf das Klima der Erdoberfläche immer geringer werden, der Einfluß der Sonnenstrahlen aber fortwährend zunehmen. Und in der That lassen die organischen Reste, welche aus dieser Zeit stammen, immer deutlicher die Unterschiede von Jahreszeiten und Zonen aus ihrem Bau und aus ihrer Verbreitung abnehmen. Die Kreide bildet auch in dieser Beziehung den Uebergang zu der tertiären Periode, in welcher die Wärme des Erdkernes auf die Temperatur der Erdoberfläche immer schwächer einwirkte, in welcher nicht blos die Continente und Meere, sondern auch die Zonen und Jahreszeiten der jetzigen Erdoberfläche sich allmählig in ihrer ganzen Schärfe ausbildeten.

Wenn dieser allmählige Wechsel in der Temperatur der Erdoberfläche kurz ausgedrückt werden soll, so läßt sich mit ziemlicher Sicherheit behaupten, daß mit dem Dickerwerden der Erdrinde jene Temperatur fortwährend abgenommen hat, daß sie im Anfange der Erdbildung weit bedeutender als jetzt, vielleicht 50° und darüber war. Außerdem fanden im Anfange

Digitized by Google

keine Unterschiede der Temperatur in horizontaler Ausdehnung statt; Zonen und Jahreszeiten traten erst mit dem Hellerwerden der Atmosphäre, mit dem Uebergewichte der Sonnenstrahlen mehr und mehr hervor. Aber außerdem fehlte in den ersten Zeiten der Erdbildung auch jener Temperaturunterschied, welcher mit den verschiedenen Graden der Höhe über dem Meeresspiegel zusammenhängt. Erst mit dem Emporsteigen höherer Gebirge konnten die Regionen der Erdoberfläche sich ausbilden (S. 284); und so fällt auch die Entstehung dieser eigentlich erst in die tertiäre Periode.

Wir haben früher gezeigt, daß die Temperatur eines Ortes nicht hinreicht, um sein Klima vollständig zu bestimmen. Dazu gehört außerdem die durchschnittliche Menge von Wasserdämpfen, welche in der Atmosphäre eines Ortes enthalten ist. Auf diesem Momente beruht ja der Gegensatz des Küsten- und Binnenklima's (S. 296). Faßt man nun alle Bedingungen des Küsten- und Inselklima's zusammen, vorzüglich die Nähe großer Wassermassen und den daraus entspringenden Reichthum der Atmosphäre an Wasserdämpfen, so leuchtet ein, daß dieses Klima während der ersten Periode der Erdbildung im vollsten Maaße ausgebildet sein mußte. Zerstreute, niedrige Inseln ragten damals über den Meeresspiegel empor, und auf der Oberfläche jener Inseln ruhte eine Atmosphäre, welche durch ihren Gehalt an Wasserdämpfen, durch Wolken und Nebel jede freie Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum verhinderte, und den erwärmenden Sonnenstrahlen einen sehr unvollkommenen Zutritt zu den kleinen Festländern gewährte. Mit dem Aufsteigen größerer Continente, mit der Aufklärung der Atmosphäre wurde auch alles dieses verändert. Neben dem Küsten- und Inselklima trat auch das Binnenklima hervor, und der Gegensatz der Jahreszeiten wurde auf diese Weise noch schärfer ausgebildet; den milden Wintern und kühlen Sommern der Küsten und Inseln traten die kälteren Winter und heißeren Sommer der Binnenländer gegenüber.

Digitized by Google

An diese klimatischen Verhältnisse der früheren Zeiten der Erdentwicklung knüpft sich noch die Erörterung einer Frage, welche in den letzten zwanzig Jahren der Gegenstand vieler und verschiedenartiger Beurtheilungen gewesen ist. Unter den Gesteinstrümmern, welche den Diluvialablagerungen angehören, zeichnen sich viele durch Eigenschaften aus, die es zweifelhaft machen, ob man eine Fortschaffung derselben durch Wasserfluthen annehmen darf. Es sind dieses die vielbesprochenen Findlinge oder erratischen Blöcke. Während das Wasser die Gesteine, welche es mit sich fortreißt, abrundet, zeigen die Findlinge scharfe Kanten und Ecken. Solche Blöcke bedecken die norddeutsche Ebene, dann nach Westen die Niederlande und einen Theil des östlichen Englands, nach Osten Finnland und das nördliche Rußland, endlich im Norden Dänemark, Schweden und Lappland; sie reichen nach Süden bis Breslau, Leipzig und Moskau. Ueber den Ursprung dieser Blöcke kann kein Zweifel sein: alle weichen von den Gebirgsarten, auf welchen sie jetzt aufliegen, wesentlich ab, und stimmen überein mit den Gesteinen der skandinavischen Hochgebirge, vorzüglich mit ihren krystallinischen Gesteinen, mit Granit und Syenit. Wie sind nun die erratischen Blöcke von den Gebirgen Skandinaviens nach Süden, Osten und Norden in andere, zum Theil weit entlegene Gegenden gelangt? Wasserströme reichen zur Erklärung dieses Phänomenes nicht hin; und unter den übrigen Transportmitteln, welche wir in der jetzigen Ordnung der Dinge beobachten, steht außerdem für die Erklärung keines zu Gebot, als große Eismassen (S. 354); diese vermochten wohl Gesteinstrümmer von 50,000, ja 100,000 Cubikfuß Rauminhalt von den Gipfeln der Gebirge herabzutragen. So wird man gedrängt anzunehmen, daß mächtige Gletscher in vorgeschichtlicher Zeit die skandinavischen Gebirge bedeckt haben; Gletscherschliffe und Gletscherfurchen, welche man an der Oberfläche der skandinavischen Berge findet, unterstützen diese Annahme.

Dasselbe Phänomen wiederholt sich, wiewohl mit einigen

Digitized by Google

Abweichungen, in den schweizer Alpen. Durch die meisten Alpenthäler ziehen sich erratische Blöcke auch außer Zusammenhang mit den jetzt vorhandenen Gletschern herab. Sie bilden lange Linien an den Thalwandungen, in verschiedener Höhe über die Thalsohle; sie reichen aber auch weiter hinaus in die den Alpen vorliegenden Länder; so steigen sie herab in die Ebenen Piemont's und der Lombardei; so reichen sie über das breite Thal hinüber, welches die Alpen vom schweizer Jura trennt, und finden sich in bedeutender Höhe an dem den Alpen zugekehrten Abhange des Jura wieder. Bei diesen Findlingen der Alpen ist der Zusammenhang ihres Ursprunges mit ihrer jetzigen Lagerstätte nicht so unterbrochen, wie bei den skandinavischen Blöcken. Es genügt hier vollständig die Annahme großer Gletscher, welche in der Diluvialzeit die Alpenthäler ausfüllten, und welche bei ihrem Verschwinden die Findlinge in den Thälern und in den vorliegenden Ländern als Denkzeichen, als Moränen (S. 355) zurückgelassen haben. Polirte und gefurchte Gesteinsflächen bezeichnen noch jetzt die Bahnen dieser kolossalen Gletscher. Gegenüber von diesem einfacheren Phänomene des Alpengebirges bedürfen die skandinavischen Findlinge zu ihrer Erklärung noch weiterer Momente. Der weite Transport dieser Blöcke wird vielleicht am besten durch Eisberge erklärt, wie sie noch jetzt Gesteinstrümmer aus den Polarmeeren in niedrigere Breiten herabführen. Auch diese Eisberge rühren ja von Gletschern her (S. 354), nur daß hier das untere Gletscherende im Meere untertaucht und vom Meere immer aufs Neue losgerissen wird.

So leitet die Aehnlichkeit der erratischen Blöcke mit den Trümmern, welche Gletscher weiter tragen und an ihren Rändern absetzen, auf die von Agassiz vorzüglich vertheidigte Ansicht, daß in der tertiären Periode die skandinavischen und die schweizer Hochgebirge von mächtigen Gletschern zum größten Theile bedeckt gewesen seien. In Skandinavien reichten die Gletscher wahrscheinlich bis zum Meeresstrande, und losgerissene

Digitized by Google

Stücke derselben führten skandinavische Gebirgsarten nach Süden und Osten, um sie zuletzt bei ihrem Schmelzen auf den damaligen Meeresgrund abzusetzen. In den schweizer Alpen hingegen lag der Fuß der vorgeschichtlichen Gletscher noch im Binnenlande, und die Trümmer wurden daher nach Art der gewöhnlichen Moränen am unteren und seitlichen Rande der Gletscher abgelagert. Die Schweiz und Skandinavien sind die beiden Punkte, an welchen das Phänomen der erratischen Blöcke am gründlichsten untersucht und am frühsten auf vorgeschichtliche Gletscher zurückgeführt worden ist. Aber ähnliche Erscheinungen finden sich auch in anderen Ländern wieder. Insbesondere bietet Nordamerika Geschiebeablagerungen dar, welche mit den nordeuropäischen die größte Aehnlichkeit zeigen. Auch hier weisen die erratischen Blöcke auf einen nördlichen Ursprung, und erstrecken sich nach Süden bis Canada, bis zu den See'n und noch südlicher bis Connecticut, Georgien und Alabama. Aus Südamerika hat Darwin analoge Beobachtungen mitgetheilt.

Soll man aus diesen Phänomenen schließen, daß der jetzigen Ordnung der Dinge eine „Eiszeit", d. h. eine plötzliche, ausgebreitete Bedeckung der Erdoberfläche mit Gletschermassen vorhergegangen sei? Wir halten eine solche extreme Folgerung nicht für gerechtfertigt. Diejenigen Fälle von erratischen Blöcken, welche nach gehöriger Sichtung nur durch die Annahme vorgeschichtlicher Gletscher erklärt werden können, scheinen aus den allmähligen Veränderungen des Klima's der Erdoberfläche ohne zu große Schwierigkeit sich ableiten zu lassen. Wir haben früher (S. 354) schon den Gletscher erwähnt, welcher an der Westküste Südamerika's unter 46° 40′ s. Br. sich bis zur Meeresfläche herab, mit einer Breite von 2 Meilen und einer Länge von 4 Meilen erstreckt. Dieser Gletscher liegt nach Süden unter demselben Breitegrade, unter welchem auf der nördlichen Halbkugel das fruchtbare Nordende des Gardasee's sich befindet; er hat dieselbe Isotherme mit dem nördlichsten Theile der

vereinigten Staaten und mit Norddeutschland. So steht nichts im Wege, auch in Gegenden, welche jetzt keine Gletscher mehr besitzen, Gletscher sich vorzustellen, wenn nur gewisse klimatische Verhältnisse hinzukommen, welche der Südspitze Südamerika's eigenthümlich sind. In der That war das Klima der Erdoberfläche in der tertiären Zeit viel mehr, als jetzt, einem Küstenklima ähnlich. Die Continente hatten sich noch nicht ganz zu ihrer jetzigen Ausdehnung und Höhe ausgebildet; die Meeresfläche überwog noch mehr die Strecke der Festländer; in der Atmosphäre der Erde schwebten in reichlicherem Maaße Wasserdünste und Wolken. Nehmen wir daher auch nach früheren Erörterungen an, daß in der tertiären Zeit die mittlere Jahrestemperatur noch etwas höher war, als jetzt, so fehlte doch den damaligen Continenten die hohe Sommerwärme der jetzigen Binnenländer; sehr milde Winter wechselten damals mit kühleren Sommern ab. So kam es, daß die schneeartigen Niederschläge, welche damals schon die Spitzen der Gebirge bedeckten, langsamer schmolzen, als jetzt. Sie entwickelten sich daher zu Gletschern auch in solchen Gebirgen, die jetzt von Gletschern völlig entblößt sind, und die Gletscher rückten an den Abhängen der Gebirge zu solchen Tiefen herab, in welchen sie jetzt nur ausnahmsweise in Ländern der gemäßigten Zone angetroffen werden.

So reiht sich das Phänomen der erratischen Blöcke in die tertiäre Periode ungezwungen ein. Mit der vollständigen Ausbildung der Continente nach Höhe und Breite prägte sich der Gegensatz von Sommer und Winter, wie er dem Binnenklima eigenthümlich ist, erst in voller Schärfe aus. Warme Sommer schmolzen die Gletscher und ließen sie in einigen Gebirgen völlig verschwinden, in anderen sich zu den höchsten Thälern zurückziehen. Vielleicht ergab sich aus dieser Schmelzung selbst ein Theil des tropfbarflüssigen Wassers, welches in der Diluvialzeit viele Gegenden überschwemmt und gerundete Trümmer auf Ebenen und in Flußthälern abgelagert hat.

Digitized by Google

Auf diese Weise haben sich die Continente der Erde allmählig ausgedehnt und erhöht, die Meere zurückgezogen und vertieft; die Klimate haben sich nach den Graden der Wärme und der Feuchtigkeit an den verschiedenen Punkten der Erdoberfläche ausgebildet. Mit Einem Worte: alle Gegensätze und Eigenthümlichkeiten, welche wir jetzt an der Oberfläche unseres Planeten unterscheiden, sind aus dem ungeschiedenen Zustande allmählig hervorgegangen. Es wäre wohl der Mühe werth, auch die Art und Weise kennen zu lernen, wie sich die Strömungen von Luft und Wasser in der vorgeschichtlichen Zeit verhielten; aber bis jetzt vermögen wir darüber nichts Bestimmtes anzugeben. Glücklicher sind wir in einem anderen Punkte, nämlich in der Kenntniß der Gestalt und Vertheilung der organischen Körper, welche die Meere und Continente der älteren Perioden der Erdbildung bewohnten. Die Wissenschaft der fossilen Organismen, die Paläozoologie, hat sich in den letzten Jahrzehnten, seit Cuvier's unsterblichen Arbeiten, rasch zu einer bedeutenden Höhe der Ausbildung emporgeschwungen. Wenn wir von dem früheren Verhalten unserer Erdoberfläche, von den Klimaten und von der Vertheilung des Festen und Flüssigen irgend etwas Sicheres auszusagen im Stande sind, so beruht dieses fast nur auf der genauen Kenntniß der fossilen organischen Reste. Wir schließen aus unseren jetzigen Erfahrungen und aus der anerkannten Harmonie der Organismen mit der umgebenden Schöpfung (S. 293) zurück auf die Verhältnisse jener Orte, an welchen sich jetzt organische Reste von bestimmter Art vorfinden.

Die erste Veränderung in den Verhältnissen der Erdoberfläche, welche hier in Betracht kommt, ist die allmählige Vermehrung und Ausdehnung der Continente. Aus dieser erklärt es sich schon im Allgemeinen, daß im Anfange der Erdentwicklung fast nur Wasserthiere und vorzüglich Meeresthiere existirten, daß Landthiere erst mit der Ausbildung der Continente in zahlreicheren und vollkommeneren Formen

hervortraten. Unter allen Gruppen des Thierreiches vermag doch keine diesen Uebergang besser zu bezeichnen, als die höchste Gruppe, die der Wirbelthiere. Drei Klassen der Wirbelthiere, Fische, Reptilien und Säugthiere, entsprechen den einzelnen Stufen, welche in der Ausbildung der Continente früher festgehalten worden sind. Durch die Organe der Bewegung und des Athmens werden die Fische durchaus an das wäßrige Medium gewiesen; daher treten sie auch unter allen Wirbelthieren allein in der silurischen und in der Kohlenformation auf; erst in dem Kupferschiefer der permischen Formation finden sich die Reste eines einzigen Reptiliengeschlechtes. Um so mehr haben die Reptilien in der zweiten Periode, während der Ablagerung der Trias, des Jura und der Kreide, vorgeherrscht. In Bezug auf Bewegung und Athmung halten die Reptilien zwischen Wasser- und Landthieren ziemlich die Mitte. Viele derselben bewegen sich in tropfbarflüssigen Medien und auf dem Festlande mit derselben Leichtigkeit. Alle Reptilien athmen unmittelbar durch Lungen den Sauerstoff der Atmosphäre; aber ihre Athmung zeigt immer eine geringe Intensität, und die Gruppe der froschartigen Reptilien theilt außerdem in der ersten Zeit oder während der ganzen Dauer ihres Lebens mit den Fischen die Kiemen, d. h. Athmungsorgane, welche nur den vom Wasser absorbirten Sauerstoff zu athmen vermögen. Aus dieser Mittelstellung erklärt es sich zur Genüge, wie die Herrschaft der Reptilien gerade in jene Zeit paßte, wo die Erdoberfläche ihren insulären Charakter verlor, wo ausgedehnte Continente sich zu gestalten begannen. An Meeresküsten, in Flußmündungen, in Lachen und Sümpfen der jungen Continente lebte damals ein mannigfaltigeres Heer von Reptilien, als die jetzige Schöpfung aufzuweisen vermag. Mit der vollkommenen Ausbildung der Continente traten endlich jene Wirbelthiere hervor, deren Existenz an die bestimmte Gestaltung von Festländern und Meeren eng geknüpft zu sein scheint; die luftathmenden Säugthiere erscheinen zum ersten Male im

Digitized by Google

stonesfielder Schiefer, einem Gliede der Juraformation, und zwar ist es eine der unvollkommensten Säugthiergruppen, die der Beutelthiere, welche dort in wenigen Resten die ganze Klasse vertritt. In der Kreide sind Säugthierreste noch nicht aufgefunden; aber in der tertiären Periode entwickelt sich die höchste Klasse der Wirbelthiere zu einer großen Mannigfaltigkeit der Arten. So kann wohl von den drei Hauptzeiten der Erdbildung gesagt werden, daß die erste durch die Fische, die zweite durch die Reptilien, die dritte durch die Säugthiere besonders ausgezeichnet sei.

Aber es gibt außer der Bewegung im Wasser und auf dem festen Lande noch eine dritte Art der thierischen Ortsbewegung, nämlich das Fliegen. Es scheint eine gewisse Aufklärung der Atmosphäre, eine Entfernung ihres überschüssigen Wassers und kohlensauren Gases nöthig gewesen zu sein, ehe fliegende Thiere in dem Medium des Luftkreises athmen und sich bewegen konnten. So treten denn die ersten Vogelreste erst nach dem Schlusse der Zechsteinperiode, in der Trias auf. Der bunte Sandstein Connecticut's bietet deutliche Fußstapfen von mehreren Vogelarten dar; es sind sichere Erinnerungszeichen an jene Vögel, welche am Strande vorweltlicher See'n oder Meere ihre Zehen dem Ufersande eingedrückt haben. Vögelknochen finden sich im oberen Jura und in der Kreide. Aber neben diesen fliegenden Wirbelthieren der Jetztzeit haben sich durch die Atmosphäre der Juraperiode auch Reptilien im Fluge bewegt; der Pterodaktylus liefert durch wohlerhaltene Skeletreste den sicheren Beleg, daß der Reptilientypus sich in jener Zeit zu einer hohen, jetzt nicht mehr vorhandenen Mannigfaltigkeit der Formen entwickelt hatte. Die Vögel gehen in ihrem Auftreten den Säugthieren etwas voran; aber sie erreichen, wie diese, erst in der tertiären Zeit die völlige Ausbildung ihrer verschiedenartigen Formen.

Wir haben bei dieser kurzen Uebersicht blos die Wirbelthiere ins Auge gefaßt, weil sie viel mehr, als die Wirbellosen, in allen ihren Thätigkeiten, und besonders in Bewegung

Digitized by Google

und Athmung, sich der umgebenden Schöpfung anschließen. Aber von den aufgestellten Regeln machen auch die wirbellosen Thiere keine Ausnahme. Korallen, Strahlthiere, Seemuscheln, Seekrebse überwiegen um so bedeutender, je mehr man sich den ältesten Formationen nähert. Mit der Entstehung von größeren Flüssen und Süßwassersee'n nahm die Zahl der Süßwassermuscheln offenbar zu. Die Insekten endlich, welche als luftathmende Thiere eine reinere Atmosphäre bedürfen und wesentlich an das feste Land gewiesen sind, fehlten zwar nicht in den Wäldern der Steinkohlenperiode; aber sie treten erst in der Juraformation zahlreicher auf, und finden ihre größte Ausbildung, gleich Vögeln und Säugthieren, in der tertiären Periode; in jenen Waldungen, deren Harze jetzt den Bernstein darstellen, haben viele und mannigfaltige Insekten gelebt; der Bernstein hat sie eingeschlossen und ihre einzelnen Theile mit großer Vollkommenheit erhalten.

Auf diese Weise hat die Ausbildung der Continente und die Aufklärung der Atmosphäre mit einem entsprechenden Wechsel der thierischen Formen überall gleichen Schritt gehalten. Wir haben jetzt dasselbe auch für die Pflanzen nachzuweisen. Die Gestalt der Erdoberfläche, die Zusammensetzung der Atmosphäre und die Temperatur der niedersten Luftschichten machten das Klima der ältesten Erdperioden dem Klima der Inseln warmer Erdstriche ähnlich. Große Feuchtigkeit und gesteigerter Kohlensäuregehalt der Atmosphäre, verminderter Einfluß der Sonnenstrahlen, Nähe großer Wassermassen verbanden sich in der silurischen und in der Kohlenperiode mit einer hohen Temperatur, welche von dem Erdinnern aus fortwährend unterhalten wurde. Hieraus ergab sich eine Vegetation, welche sich an die Flora der kleinen Inseln Australiens zunächst anschließt; nur daß der Vegetationscharakter dieser Inseln in den zwei ältesten Formationen in sehr gesteigertem Grade sich geltend machte. Mächtige, jetzt unbekannte Arten der Kryptogamen, baumartige Farnkräuter, Bärlappmoose und Schafthalme bedeckten die Inseln

Digitized by Google

der ältesten Erdperiode. Zu ihnen gesellten sich sehr wenige zapfentragende Bäume, mit unseren Tannen nur durch allgemeine Familienähnlichkeit verbunden. Aber es fehlten ganz jene gewöhnlichen, monokotyledonen und dikotyledonen Gewächse, welche auf den Inseln der Südsee neben großen Kryptogamen auftreten, und welche in der Jetztzeit überhaupt die große Mehrzahl der Pflanzen darstellen.

Die Pflanzen jener ältesten Perioden haben verhältnißmäßig wenige Arten aufzuweisen; aber es scheint, daß ihr Wachsthum durch die bedeutende Feuchtigkeit, durch den Kohlensäurereichthum und die hohe Temperatur der damaligen Atmosphäre bis zu einem sehr hohen, jetzt nicht mehr möglichen Grade gesteigert wurde. Die Reste dieser üppigen Wälder liegen in Grauwacke und Thonschiefer als Anthracit, im Kohlengebirge als Steinkohle begraben. Die neuesten Untersuchungen lassen kaum einen Zweifel übrig, daß diese Kohlenmassen nicht aus zusammengeschwemmten Hölzern entstanden sind; es fehlten damals ja die großen Flüsse, welche jetzt, wie vor allen der Mississippi, große Massen von Holz ins Meer führen und an ihren Mündungen ablagern. Die Kohlenlager der ältesten Periode scheinen vielmehr sich an Ort und Stelle selbst aus modernden Pflanzentheilen gebildet zu haben; es war nur sumpfiger Grund nöthig, um durch Gegenwart von Wasser die Verkohlung möglich zu machen; Adolph Brongniart vergleicht daher die Kohlenlager mit den Lagen des Torfes oder mit der modernden Schichte, welche den Boden großer Wälder bildet; auf der faulenden Unterlage wuchsen immer neue, hohe und niedere Pflanzen nach. Durch diese erste, üppig wuchernde Pflanzendecke wurde ein Theil der reichlichen atmosphärischen Kohlensäure absorbirt, und die Verkohlung jener Pflanzendecke vermittelte die großartigste Firirung atmosphärischen Kohlenstoffes in der Erdrinde. Die Atmosphäre wurde erst durch dieses reiche Pflanzenwachsthum und durch den Uebergang von Kohlensäure in junge Gebirgsarten zu derjenigen

Zusammensetzung gebracht, in welcher sie luftathmenden Thieren als Medium dienen konnte; daher traten die ersten Reptilien nach der Steinkohlenperiode, in der Zeit des permischen Systemes auf.

Während des Endes der ersten großen Periode, von welchem das permische System uns Zeugnisse aufbewahrt hat, begann der Vegetationscharakter sich zu ändern. Allmählige Uebergänge bereiteten ihn während der zweiten Periode zu jener Stufe vor, welche er in der tertiären Zeit einnimmt. Wie die Thierwelt dieser Periode sich der jetzigen immer mehr annähert, so lassen auch die Pflanzenformen der tertiären Zeit eine zunehmende Aehnlichkeit mit den jetzigen erkennen. Vor Allem möchten wir unter diesen Umwandlungen Eine hervorheben, welche sich auf den inneren Bau der Gewächse bezieht. Je mehr der Gegensatz der Jahreszeiten mit dem Hellerwerden der Atmosphäre und mit der Ausdehnung der Continente sich ausbildete, desto deutlicher traten in den baumartigen Gewächsen die Jahresringe als Zeichen der jährlichen Unterbrechung der Vegetation hervor. Daher kommt es, daß in den Bäumen der ersten Periode die Jahresringe ganz oder beinahe ganz fehlen, daß sie im Keuper und Lias bemerkbar, im Jura noch deutlicher werden, und daß sie in den Pflanzenresten der tertiären Schichten so deutlich sind, als bei jetzt lebenden Arten.

So ist dem allmähligen Wechsel der klimatischen Verhältnisse sowohl im Pflanzenreiche als im Thierreiche eine entsprechende Aenderung der Formen zur Seite gegangen. Jeder einzelnen, großen Periode gehörte ein eigenthümlicher Charakter der organischen Schöpfung an. Aber dieser allmählige Wechsel der organischen Gestalten erschöpft noch keineswegs die Umwandlung, welche im Verhalten der Organismen während der geologischen Perioden vor sich ging. Es nahm ja nicht blos im Allgemeinen die Temperatur der Erdoberfläche mit dem Fortschreiten der Erdbildung ab, sondern zwischen den einzelnen Gegenden der Erde, zwischen Polen und Aequator entwickelten

sich die Gegensätze der Zonen; es erweiterten und erhöhten sich nicht allein die Continente, sondern sie erhielten auch mit der letzten Befestigung ihrer Gestalt ein eigenthümliches Gepräge. Beiden Veränderungen entsprachen Umwandlungen in der organischen Schöpfung.

In der ersten Periode der Erdbildung finden sich dieselben Pflanzen- und Thierreste überall in den betreffenden Schichten wieder. Organismen, wie sie jetzt nur den Meeren und Inseln der warmen und heißen Zonen eigenthümlich sind, bewohnten damals alle Punkte der Erde, sie mochten dem Aequator oder den Polen näher liegen. So blieb es auch während der Ablagerung der Trias und des Jura. Korallenbaue, wie man sie jetzt nur in der Südsee kennt, bildeten das Gerüste des schweizer und deutschen Jura. Ammoniten und Belemniten, wie sie nur in wärmeren Meeren vorkommen konnten, wurden in Sibirien unter 64, ja unter 72 Graden nördlicher Breite gefunden. Aber in der Kreide erscheinen, wie Leopold von Buch gezeigt hat, die ersten Zonenunterschiede. Kreideablagerungen reichen in Nord und Süd nicht bis zu dem 60. Breitegrade; sie gehen in Jütland bis zum 57., an der Südspitze Amerika's bis zum 53. Grad. Daraus muß geschlossen werden, daß die Organismen der Kreide nicht mehr in die kälter gewordenen, nördlichen und südlichen Gegenden der Erde sich ausbreiteten, daß in den Meeren dieser Gegenden vorzüglich jene kalkschaligen, mikroskopischen, polypenähnlichen Thiere fehlten, deren Schalen die weiße Kreide fast allein zusammensetzen. Endlich bereitete die tertiäre Periode auch in Bezug auf die Zonenunterschiede der Organismen die jetzige Ordnung der Dinge vor.

Dazu kam, daß die Ausbildung der Continente auch Eigenthümlichkeiten der Organismen hervorrief, welche von klimatischen Verhältnissen unabhängig erscheinen. In den älteren Formationen sind zwar einige Ablagerungen von anderen, gleichzeitigen durch kleine Abweichungen, durch Vorherrschen der einen oder der anderen, thierischen oder pflanzlichen Species unter-

Digitized by Google

schieden. Aber erst die tertiären Schichten lassen Unterschiede erkennen, welche auf die jetzigen Verschiedenheiten der Continente in Bezug auf Fauna und Flora hinweisen. Südamerika, welches jetzt noch durch seine Faulthiere sich auszeichnet, beherbergte damals riesige Formen derselben Familie. In Europa herrschten Raubthiere, den jetzigen ähnlich. In Neuholland wohnten schon Beutelthiere, welche auch jetzt noch die hauptsächliche Auszeichnung jenes merkwürdigen Continentes ausmachen. Es bedurfte nur geringer Abänderungen in den Geschlechtern oder Arten der Thiere und Pflanzen, um den Uebergang der tertiären zu der jetzigen organischen Schöpfung zu vermitteln. Mit dem Eintritte der Jetztzeit stand jeder Continent als ein eigenthümlicher mit eigenthümlichen Organismen da.

Diese Andeutungen mögen genügen, um das Verhältniß der organischen Geschöpfe zu den Veränderungen der Erdoberfläche zu bezeichnen. In allen Beziehungen hielten die organischen Formen mit den Umwandlungen der Erde gleichen Schritt. Wie nun die Erdrinde nicht durch unmerkliche Uebergänge, sondern durch mehrfache, plötzliche Umbildungen zu ihrer jetzigen Beschaffenheit gelangte, so lassen sich auch in der Umwandlung der organischen Geschöpfe große Epochen unterscheiden, in welchen ein ganzes Heer von Gestalten unterging, um neuen das Feld zu räumen. Mächtige Bewegungen in Luft, Wasser oder Erdrinde vernichten auch jetzt noch große Massen von Organismen (S. 382). Aber solche Verheerungen sind kaum zu vergleichen mit den geologischen Umwälzungen, welche ganze thierische und pflanzliche Geschlechter und Familien plötzlich oder allmählig vernichtet haben. Wo die Erde ihre Existenzweise wesentlich änderte, entzog sie einer großen Zahl von Organismen die Bedingungen ihres Lebens. Zu den neuen Verhältnissen der Continente, der Meere und des Luftkreises paßten nur Organismen von neuer Bildung. Es mag schon aus diesen Bemerkungen hervorgehen, daß die neuen organischen

Digitized by Google

Formen nicht auf dem Wege der Fortpflanzung aus den alten entsprungen sind. Das erste Thier, die erste Pflanze entstanden ohne Mutterorganismen; und auf dieselbe Weise mußte jede wesentlich neue Form, d. h. jede neue Art der organischen Körper entstehen. Es läßt sich hier dem Geständnisse nicht ausweichen, daß der göttliche Schöpfer ursprünglich und wieder in jeder neuen Epoche Organismen erschaffen habe. Hier ist immer ein wesentlich Neues, was nur durch die göttliche Macht und Weisheit hervorgerufen werden konnte.

Wir haben die Harmonie der Organismen mit der umgebenden Schöpfung jetzt auch in den Entwicklungsperioden der Erde nachgewiesen. Thiere und Pflanzen folgen in ihren Formen der allmähligen Abnahme der Temperatur, der Reinigung der Atmosphäre, der Ausbildung der Zonen und der Continente. Organismen und Erdkörper erheben sich auf jeder neuen Stufe zu einer größeren Mannigfaltigkeit, zu einer schärferen Ausprägung individueller Eigenthümlichkeiten. Die jetzige Ordnung der Dinge begann, als die Unterschiede der Zonen und die Eigenthümlichkeit der Continente für den Erdkörper und seine Organismen völlig entwickelt waren. Vielleicht ist es passend anzunehmen, daß alle Verhältnisse unserer Erdoberfläche seit jener Epoche keine wesentlichen Veränderungen mehr erlitten haben. Die Zusammensetzung der Atmosphäre, die Vertheilung von Festland und Wasser, die Erhöhung der Continente dürfte noch fast dieselbe sein, wie zu jener Zeit. In kleinem Maaße nur dauerten Hebungen und Senkungen der Erdoberfläche fort, und die Gewässer der Erde hörten nicht auf, die Höhen zu zertrümmern und in der Tiefe neue Absätze zu bilden. Aber alle diese Veränderungen reichen bei Weitem nicht hin, um aus ihnen künftige, großartige Umwälzungen der Erdoberfläche abzuleiten. Wenn dieser Schauplatz des menschlichen Lebens einst verändert oder vernichtet werden soll, so müssen diese Umwandlungen durch Ursachen bewirkt werden, deren Einflüsse uns in dem jetzigen Zustande des Erdkörpers völlig unmerklich sind. Wir

Digitized by Google

werden später zeigen, daß die gegenwärtige Beständigkeit in den Verhältnissen unseres Erdkörpers mit der Existenz des Menschengeschlechtes im nächsten Zusammenhange steht; der Mensch erschien erst mit dem Schlusse der tertiären Periode.

Uebersicht.

Die Erde ist früher als ein Individuum bezeichnet worden; sie bietet uns Gelegenheit dar, das Wesen der planetarischen Individuen, ja der Individuen überhaupt näher zu erforschen.

Wie die Pflanze, wie das Thier in die umgebende Schöpfung als ein Glied eingreift, so steht die Erde mitten in dem großen Reiche der Gestirne. Die Schwere ist es, welche die Erde in diesem Reiche hält und leitet; als ein schwerer Körper bewegt sich die Erde um ihre Sonne. So stellt die Schwere die Grundbedingung für die Existenz unseres Planeten dar. Dem Bande der Schwere steht das Licht als eine Mittheilung vom Centrum aus, gleichsam als ein äußeres Zeugniß der Abhängigkeit von der Sonne gegenüber. Die Wärme endlich, welche zu allen Bewegungen der einzelnen irdischen Körper so wesentlich mitwirkt, kommt der Erde zum Theil vom Himmelsraume, d. h. von der Sonne zu. So verbinden sich Schwere, Wärme und Licht zu dem Gemeinsamen, was die Erde und alle Planeten an die Sonne knüpft. Aehnlich verhalten sich andere Individuen aus unserer täglichen Erfahrung. Auch das Thier hängt wesentlich durch Schwere, Licht und Wärme von der umgebenden Schöpfung ab. Beim Thiere hingegen und überhaupt bei den Organismen tritt hiezu noch eine weitere Beziehung. Der Stoff, aus welchem das Thier besteht, bleibt während seines Lebens nicht in seinem Körper; ein Theil dieses Stoffes wird nach dem anderen ausgeschieden und neuer Stoff an der Stelle des ausgeschiedenen aufgenommen. Wo könnte

Digitized by Google

Aehnliches bei unserer Erde beobachtet werden? Alle unsere Erfahrungen sprechen dafür, daß die Substanz unserer Erde noch dieselbe ist, wie im Anfange der Erdbildung, daß sie Stoff weder von außen aufgenommen, noch nach außen abgegeben hat. Nur die Meteorsteine dürften als kosmische, von der Erde aufgenommene Substanzen angesehen werden; aber ihr Volumen ist viel zu gering, als daß sie ein wirkliches Wachsthum der Erde zur Folge haben könnten. So steht die Erde den Organismen als ein unabhängiger, stofflich in sich abgeschlossener Körper gegenüber.

Wenn Schwere, Wärme und Licht von außen die Erde halten, treiben und erregen, so wirken in der Erde selbst als Individuum vorzüglich ihre eigene Schwere und ihre Eigenwärme, die physikalischen Unterschiede und die chemischen Gegensätze ihrer Substanzen. Die Schwerkraft wirkt vom Erdmittelpunkte aus nach der Peripherie hin. Die Quelle der Wärme liegt in dem feurigflüssigen Erdkerne. Die physikalischen und chemischen Unterschiede sind in der festen Erdrinde, den tropfbarflüssigen Gewässern und der gasförmigen Atmosphäre, in den Metallen und der Kieselsäure der Erdrinde und in dem Sauerstoff und der Kohlensäure des Luftkreises vornehmlich ausgeprägt. Die Spitze aller dieser tellurischen Unterschiede bildet aber der umfassende und immer gleichbleibende Erdmagnetismus, welcher polare Gegensätze in der großen Masse unseres Planeten hervorruft. Zu den individuellen Bedingungen der Existenz der Erde gehört es also vorzüglich, daß sie in sich nicht gleichartig, sondern aus chemisch und physikalisch verschiedenen Theilen zusammengesetzt ist. Gegenüber von den allgemeinen Einflüssen, von Schwere, Wärme und Licht treten die verschiedenartigen Theile der Erde in verschiedene Verhältnisse.

Aus der Wechselwirkung der von außen wirkenden Schwere, der äußeren Wärme und des äußeren Lichtes mit den individuellen Kräften und Eigenschaften der Erde, mit ihrer Schwere und Wärme, mit ihren chemisch und physikalisch verschiedenen

Digitized by Google

Theilen entspringen alle Veränderungen in dem Zustande der Erde, alle jene Bewegungen und chemischen Processe, die wir in der Erdrinde, in der tropfbarflüssigen und gasförmigen Hülle unseres Planeten unterschieden haben. Wir zeigten, wie Schwere und Wärme sowohl die Strömungen der Luft und der Gewässer, als die Hebungen und Senkungen der festen Erdrinde bedingen, wie ferner aus den chemischen Gegensätzen der irdischen Stoffe der chemische Proceß in der Erdrinde, in den Gewässern und in der Atmosphäre hervorgeht. Es darf hier als Resultat der bisherigen Untersuchungen angesehen werden, daß die Ungleichartigkeit der einzelnen Theile eine wesentliche Ursache für alle Processe ist, welche an der Erde vor sich gehen. Wenn unser Planet durch seine Masse hindurch gleichartig wäre, so könnten die Einwirkungen der innern und äußern Schwere und Wärme überall nur gleiche Effekte hervorrufen; es wäre wohl eine Bewegung der Erde als eines Ganzen, aber nicht die Bewegung der einzelnen Theile gegen einander möglich. Die Wirkung allgemeiner Einflüsse auf ein aus verschiedenartigen Theilen zusammengesetztes Individuum ist also die Ursache aller tellurischen Processe.

Wenn wir früher (S. 256) die Gestirnindividuen als abgeschlossene Ganze von eigenthümlichen Eigenschaften bezeichneten, so kann jetzt der Begriff des Individuums noch vollständiger bestimmt werden. Es gehört zum planetarischen Individuum, daß es aus ungleichartigen, wechselseitig sich bedingenden Theilen zusammengesetzt wird. Zu der räumlichen Abgeschlossenheit, welche dort dem Individuum zugeschrieben wurde, kommt jetzt noch eine Abgeschlossenheit des innern Baues und der inneren Bewegungen oder Thätigkeiten. Die einzelnen Theile der Erde gehören so wesentlich zusammen, daß keiner herausgenommen werden dürfte, ohne den Zusammenhang der irdischen Processe zu stören. Die Gegensätze von Hoch und Tief, von Pol und Aequator, von Erdkern und Erdrinde, von tropfbarflüssiger und gasförmiger

Digitized by Google

Hülle sind nothwendig, damit die chemischen und physikalischen Bewegungen in richtiger Weise an der Erde geschehen. Individualisirt, untheilbar ist unser Planet also auch dadurch, daß seine einzelnen, ungleichartigen Theile ein System darstellen, aus welchem ohne Störung des Ganzen kein Glied fehlen darf. Auf dieser Stufe unserer Untersuchung ist es wohl erlaubt, das Erdganze mit einer Maschine zu vergleichen, in welcher jeder einzelne Theil seine besondere Bedeutung für die Zwecke des Ganzen hat. Auch darin gleicht die Erde einer Maschine, daß durch die Bewegung der einzelnen Theile die allgemeine Ordnung keineswegs gestört wird. Die Bewegungen und die chemischen Processe unseres Planeten befördern gerade die Erhaltung jener inneren Gliederung, auf welcher sie selbst beruhen.

Gott ist als der Schöpfer der Gestirne, überhaupt als der Ursprung aller Individualitäten erkannt worden (S. 255). Es ist jetzt nothwendig hinzuzufügen, daß er die Erde, daß er wohl alle Gestirnindividuen nicht als gleichförmige Massen geschaffen, daß er vielmehr in jedes Sternindividuum durch eine innere Ungleichartigkeit die Ursache zu immerwährender Bewegung gelegt hat. Die Bewegung, welche uns im ganzen Weltsysteme, in der Ruhelosigkeit aller Gestirne entgegentritt, wiederholt sich im Innern jedes einzelnen Gestirnes. Aber hier sind es nicht mehr abgeschlossene, räumlich von einander getrennte Körper, die sich gegenseitig zu Bewegung und Thätigkeit anregen; sondern die einzelnen Theile eines Sternindividuums mischen und durchdringen sich; aus der Atmosphäre geht Substanz in die Gewässer und in die Erdrinde über, und steigt aus diesen wieder in den Lustkreis empor; es ist unmöglich, zwischen den ungleichartigen Theilen des Erdganzen scharfe Gränzen zu ziehen. So werden die Gegensätze, auf welchen alle tellurischen Prozesse beruhen, nicht in einzelnen Körpern dauernd gleichsam personificirt; sondern jeder irdische Körper tritt zu dem Ganzen in wechselnde Beziehungen; er verhält sich zum Ganzen nur als ein unselbständiger, für sich nichts bedeutender

Digitized by Google

Theil. Die Anordnung dieser Theile muß demselben Schöpfer zugeschrieben werden, welcher das Individuum als ein Ganzes erschaffen hat. Dieselbe göttliche Macht und Weisheit, welcher die erhabene Ordnung des ganzen Weltsystemes zugeschrieben werden muß, hat Gesetz und Bewegung nicht blos bis zu einem gewissen Grade den Geschöpfen verliehen; sondern sie durchdringt ordnend und belebend das Einzelne so gut wie das Ganze. Dieser unbegränzte Einfluß des göttlichen Wesens auf die Natur wird immer aufs Neue hervorleuchten, so oft uns neue Geschöpfe entgegentreten.

Viele sind bei dieser Weise der Betrachtung der Erde stehen geblieben; sie sahen in Gott nur den klugen und kräftigen Werkmeister, welcher den Stoff, sei dieser von ihm erschaffen oder ursprünglich vorhanden gewesen, auf unübertreffliche Art vertheilt und die einzelnen Theile zu einem wohlgeordneten Ganzen verbunden habe. Die gesetzmäßigen Strömungen der Luft und der Gewässer, die Neubildung von Festland aus wäßrigen Absätzen, die großartigen Effekte der atmosphärischen Elektricität, überhaupt alles Irdische, welches wir in Ruhe oder Bewegung als ein wohlgeordnes bewundern, sind nach jener Auffassung durch den göttlichen Schöpfer gemacht und in diese Ordnung gebracht worden. Es ist nun freilich kein Zweifel, daß Gott der Urheber dieser Gesetzmäßigkeit der irdischen Dinge ist. Aber er hat die Erde in ihrer jetzigen Anordnung nicht geradezu aus dem Nichts hervorgerufen. Die Erde hat früher in anderer Weise existirt und das Verhältniß Gottes zu unserer Erde, sein Verhältniß zur Welt überhaupt wird erst richtig erkannt, wenn die Aufeinanderfolge der verschiedenen Existenzweisen der Erde im Zusammenhange begriffen ist.

Alle Zustände unseres Planeten weisen auf den Moment zurück, wo er als einzelnes Gestirn anfing, sich um seine eigene Axe und um die Sonne zu bewegen; dieser Moment war der Anfang der individuellen Existenz der Erde. Von dort aus

Digitized by Google

durchlief die Erde eine Reihe von Veränderungen, welche alle darauf hinzielten, einestheils die Gegensätze und Verhältnisse des Planeten schärfer und mannigfaltiger zu machen, andrerseits eine feste Gestalt der Erde, einen festen Boden des neuentstehenden Menschengeschlechtes hervorzubringen. Diese Reihe von Zuständen gewährt Gelegenheit zur Erörterung einiger wichtigen Punkte; und vor Allem ist es der Anfang der Reihe selbst, welcher eine nähere Betrachtung bedarf.

Die philosophische Spekulation und die Beobachtung des Wirklichen haben gemeinschaftlich zu der Ansicht geführt, daß jede Entwicklung, sei sie nun geistig oder körperlich, von dem Einfacheren ausgehe und zum Mannigfaltigeren und Zusammengesetzteren fortschreite. Wie verhält sich aber der Ausgangspunkt der Entwicklung? Ist das Individuum im Momente seiner Entstehung ein völlig einfaches, oder lassen sich in ihm auch da schon Unterschiede der Zusammensetzung und der Thätigkeit unterscheiden? Zur Beantwortung dieser Frage ist es nöthig, auch die Organismen in den Kreis der Betrachtung zu ziehen; denn nur diese erlauben der Wissenschaft, die ersten Zustände der Individuen unmittelbar zu beobachten. Bei pflanzlichen und thierischen Keimen kann nun gar kein Zweifel sein, daß sie, wenn sie überhaupt entwicklungsfähig sind, ursprünglich Theile von verschiedenem chemischem und physikalischem Verhalten in sich erkennen lassen. Man darf hieraus schließen, daß überhaupt kein Individuum am Anfange seiner Entwicklung ein völlig einfaches, in sich unterschiedloses sei; die Gegensätze, welche im ausgebildeten Zustande des Individuums nach Thätigkeit und Bau bestehen, dürften gleich im Anfange schon sich in der einfachsten Weise vorfinden und die Unterscheidung des Individuums in verschiedenartige Theile nothwendig machen. So haben wir auch für die Erde mit den Geologen angenommen, daß sie schon in den ersten Momenten ihrer individuellen Existenz ein zusammengesetzter Körper gewesen sei. Alle nehmen an, daß die chemischen Grundstoffe, die wir jetzt in

Digitized by Google

Luft, Wasser und Erdrinde unterscheiden, schon anfangs mit ihren eigenthümlichen Charakteren vorhanden gewesen sind. Nur darüber theilen sich die Ansichten, ob die chemischen Elemente ursprünglich als solche, oder ob sie schon in den jetzt gewöhnlichen Verbindungen existirt haben. Wir entschieden uns wegen der unveränderlichen Affinitäten der Grundstoffe für die letztere Auffassung, und setzten voraus, daß derjenige Gegensatz, welcher noch an der jetzigen Erde der durchgreifendste von allen ist, nämlich der physikalische und chemische Gegensatz von Körper und Hülle, damals in der größten Einfachheit bestanden, daß im Erdkörper Metalloxyde und Kieselsäure, in der Hülle gasförmiges Wasser und Kohlensäure, in beiden der überall wirksame Sauerstoff sich befunden haben.

Wenn das Individuum im Momente seiner Entstehung schon ein zusammengesetztes ist, wo soll der Grund für seine Einheit, für das nothwendige Zusammengehören seiner Theile gesucht werden? Der Versuch, alle Naturkräfte aus einer einzigen Kraft zu erklären, scheiterte (S. 168) an den widerstrebenden Thatsachen der Erfahrung. Ebenso muß die Wissenschaft eingestehen, daß nirgends in dem Reiche des Geschaffenen jenes Einfache auftritt, aus welchem man so gern auf irgend eine Weise das Zusammengesetzte erklärt hätte. Freilich ist auch nicht einzusehen, wie aus dem völlig Einfachen, wenn es irgendwo existirte, je ein Zusammengesetztes hätte werden sollen. Jedes Individuum ist von Anfang bis zu Ende ein Ganzes aus zusammengehörigen Theilen; es ist einfach und zusammengesetzt zugleich; Einheit und Vielheit bedingen sich in ihm wechselseitig. Es ist früher (S. 257) gezeigt worden, daß die Existenz von Individuen überhaupt sich aus den allgemeinen Gesetzen und Kräften der Natur nicht begreift. Jetzt muß hinzugefügt werden, daß der Grund für die wesentliche, alle Theile verbindende Einheit des Individuums weder in einer früheren Existenzweise, noch in einem einzelnen Theile des Individuums, daß er überhaupt nirgends in der Natur gefunden werden kann.

Digitized by Google

Dieser Grund muß wiederum außerhalb und jenseits der Natur und ihrer Individuen, er muß in Gott als Schöpfer der Welt gesetzt werden. Gott schafft überhaupt die Individuen; aber er schafft sie vermöge seiner Weisheit als Ganze, die aus wesentlich zusammengehörigen, harmonisch verbundenen Theilen bestehen. So weist die Harmonie unserer jetzigen Erde auf den Anfang ihrer Existenz zurück. Die Erde war nie ein unordentliches Chaos, von zufällig wirkenden, widersprechenden Kräften bewegt; sondern Ordnung herrschte in ihr ursprünglich, nur in etwas anderer Weise als jetzt. Die Gesetzmäßigkeit ist in die Erde nicht, wie in einen todten Stoff, erst durch göttliche Einwirkung allmählig hereingekommen.

Unser Planet ist nicht derselbe geblieben, als welcher er entstanden war; sogleich nach seiner Entstehung begann ein Wechsel von Zuständen, der bis jetzt noch nicht völlig aufgehört hat. Wodurch ist die Erde zu diesen Veränderungen bestimmt worden? Wenn eine Kugel von einer Höhe herabrollt, so ändert sie mannigfaltig ihre Lage, sowie die Richtung und Schnelligkeit ihrer Bewegung. Die Motive zu diesen Veränderungen liegen aber alle außer ihr, in der wechselnden Form und Neigung des Bodens, auf dem sie sich bewegt; die Kugel selbst bleibt immer dieselbe. Bei den Veränderungen unseres Planeten ist es umgekehrt. Die äußeren Einflüsse, welche hier wirken, nämlich die Schwerkraft der übrigen Gestirne und vorzüglich der Sonne, die Kälte des Weltraumes und die Wärme des Centralkörpers unseres Planetensystems, — alle diese Einflüsse sind wahrscheinlich während der verschiedenen Perioden der Erdbildung ganz oder fast ganz dieselben geblieben. Die Ursache des Wechsels lag hier in dem Planeten selbst, in den veränderlichen Verhältnissen jener Gegensätze, welche von Anfang an alle Bewegungen an der Erde vermittelt haben. Zu der wesentlichen Harmonie dieser Gegensätze kommt jetzt also hinzu, daß ihre ursprüngliche Anordnung nicht auf längere Dauer, sondern auf einen ununterbrochenen Wechsel der Ver-

Digitized by Google

hältnisse berechnet war. In diese Anordnung selbst muß ein fortdauernder Anstoß zu Veränderungen von dem Urheber aller Individuen gelegt worden sein.

Ist unser Planet durch diese ununterbrochenen Veränderungen zu einem wesentlich anderen geworden? Wenn der Schwefelkies, eine sehr verbreitete Verbindung von Schwefel und Eisen, längere Zeit mit feuchter Luft in Berührung gewesen ist, so wird er durch den Sauerstoff der Atmosphäre allmählig zerlegt. Durch Sauerstoffaufnahme wird das Eisen des Kieses zu Oxydul und Oxyd, der Schwefel zu Schwefelsäure (S. 156), und aus der Vereinigung jener Salzbasen mit dieser Säure entsteht ein Salz, der sogenannte Eisenvitriol. So hat sich ein gelblich graues, metallglänzendes Mineral in ein grünes, durchsichtiges Salz verwandelt; beide unterscheiden sich nicht blos durch ihr Aeußeres überhaupt, sondern vorzüglich durch ihre verschiedene Krystallform; wer nicht von ihrem chemischen Zusammenhang unterrichtet wäre, müßte Schwefelkies und Eisenvitriol für gar nicht zusammengehörige Körper ansehen. Ganz anders verhält es sich mit den Entwicklungsstufen, welche die Erde, welche Individuen überhaupt durchlaufen. Hier werden die einzelnen Stufen durch ein festes und offenbares Band vereinigt. Es bleibt unter allen Veränderungen dasjenige, was dem Individuum erst das Gepräge der Individualität gibt, nämlich die Gestalt (S. 258). So lange die Erde als eignes Gestirn besteht, ist ihre räumliche Abgränzung keine andere geworden, und was sich an der äußeren Form ihrer festen Rinde verändert hat, läßt sich leicht und ohne Lücken auf die ursprüngliche Form des Planeten zurückführen. Neben der Gestalt ist der Erde während aller Umwandlungen auch die gleiche chemische Zusammensetzung geblieben; diese drückt ja nächst der Gestalt am besten die Eigenthümlichkeit der einzelnen Körper aus (S. 218).

So tritt in der Entwicklung unserer Erde die individuelle Einheit der Vielheit von aufeinanderfolgenden Zuständen gegen-

Digitized by Google

über. Die Individualität verknüpft demnach ebensowohl räumliche als zeitliche Verschiedenheiten und Gegensätze zu einem engverbundenen Ganzen. Wie die einzelnen Theile und Bewegungen des Individuums nicht für sich bestehen, sondern blos insofern Geltung und Bestand haben, als sie am Individuum auftreten, so stellt die individuelle Einheit auch die Grundlage für alle Entwicklungsstufen des Individuums dar. Wir haben in der Zusammensetzung des Individuums aus verschiedenartigen Theilen Ordnung und Harmonie erkannt; nicht weniger werden die verschiedenen Existenzweisen eines Individuums durch feste Gesetze bestimmt und verknüpft.

Die Veränderungen, welche das Individuum im Laufe der Zeit erfährt, gehen von einem ganz bestimmten Punkte, von dem Augenblicke der Entstehung des Individuums aus. Jedes Individuum ist ja ein Neues, in sich Abgeschlossenes, welches nicht als unmittelbare Fortsetzung eines anderen Individuums auftritt, sondern seine Existenz von einem neuen Anfange aus und auf eigenthümliche Weise entwickelt. Aber nicht minder führen die Veränderungen des Individuums zu einem bestimmten Ziele. Wir haben gezeigt, wie die Gestalt der festen Erdrinde endlich keine großen Umwandlungen mehr erfährt, sondern fast unverändert bleibt, sobald sie an dem Punkte der höchsten Individualisirung angelangt ist. Die Veränderungen des Individuums wickeln sich also nicht auf ungeordnete Weise und mit unbestimmter Dauer, unter dem Einflusse äußerer, zufälliger Ursachen ab; sondern wie im Individuum selbst der Grund zu diesen Veränderungen liegt, so durchläuft auch jedes Individuum seine eigene Reihe von Entwicklungsstufen nach einem eigenen, inneren Gesetze, und die Veränderungen halten inne, sobald das Individuum das vorbestimmte, seiner Natur angemessene Ziel erreicht hat. Der Anstoß zur Veränderung, welcher in die ursprüngliche Anordnung der einzelnen Theile des Individuums schon gelegt ist, wirkt also nicht ins Unbegränzte fort; jene Anordnung selbst macht, daß er zu

Digitized by Google

einer gewissen Zeit zu wirken aufhört. Diese gesetzmäßigen, auf einen bestimmten Zweck hinzielenden Veränderungen werden eben als die Entwicklung des Individuums bezeichnet. Der Zweck derselben ist kein anderer, als daß alle im Individuum vorhandenen Gegensätze zugleich die höchste Mannigfaltigkeit und die höchste Bestimmtheit erhalten.

Die eigentliche Grundlage der individuellen Existenz der Erde ist ihr Körper; die tropfbarflüssige und die gasförmige Hülle vertreten in unserm Planeten die allgemeine Seite der Existenz; sie liegen nach außen und gewähren den Einflüssen der anderen Gestirne und des Weltraumes freien Zutritt. Am Erdkörper treten daher auch allein die Formveränderungen des Individuums hervor. Es ist aus den früheren Untersuchungen klar geworden, daß mit dem Uebergange des Erdkörpers in den festen Zustand, d. h. mit der Fixirung seiner Oberflächengestalt seine Höhen und Tiefen sich immer entschiedener ausprägten. Die Individualisirung der Erdoberfläche begann mit vielfachen, leichten, aber gleichartigen Hebungen; die reichlichste Hervorbildung neuer Formen fällt bei allen Individuen in den Anfang ihrer Entwicklung, d. h. in die Zeit der geringsten Formbestimmtheit. Die Berge und Meerestiefen der Erde wurden zugleich dauernder und entschiedener, je mehr sich unser Planet der jetzigen Ordnung der Dinge annäherte. Die Bildung neuer Formen hörte endlich auf, als die Erdrinde fest und dick geworden, als die Höhen und Tiefen zu ihrem höchsten Gegensatze gebracht, als die Continente in ihrer vollen Eigenthümlichkeit ausgeprägt waren. So verhält es sich mit der Entwicklung aller übrigen, uns bekannten Individuen; die Formbildung stockt, wenn das Thier sich dem Ziele seines Wachsthumes nähert. Von der Erreichung dieses Zieles an gehen im Individuum wohl noch untergeordnete Formveränderungen vor sich; einzelne langsame und beschränkte Hebungen und Senkungen dauern auch jetzt noch in der Erdrinde fort, wie die Gestalt des Thieres sich auch nach vollendetem Wachsthume

Digitized by Google

noch abändert. In dieser Periode ihrer Existenz befindet sich jetzt die Erde; eine feste, scharf geformte Kruste umgibt den feurigflüssigen Kern; die chemischen und physikalischen Processe gehen an der Erdoberfläche mit aller Ordnung und Energie vor sich.

Dem Mittelpunkte des planetarischen Individuums, dem eigentlichen Maaßstabe für die Stufe seiner Individualisirung stehen die Gewässer und die Atmosphäre gegenüber. Als das Bewegliche, Unstete umkreisen und durchströmen sie die Höhen und Tiefen der Erdoberfläche. Sie zertrümmern die höchsten Spitzen, welche der Erdkörper hervortreibt, und füllen mit den Trümmern die größten Tiefen der Meere aus. Immer haben sie die Extreme von Hoch und Tief zu vermitteln gestrebt; auch jetzt noch verwischen sie diese Gegensätze, und verhüllen die gehobenen Theile der Erdrinde mit neuen, horizontalen Schichten. Es hat den Anschein, als ob der zertrümmernde Einfluß der Hüllen über die gestaltende Kraft des Erdkörpers allmählig die Oberhand gewänne; denn es stehen jetzt nur vereinzelte Hebungen und Senkungen den verbreiteten und ununterbrochenen Einflüssen der Gewässer und der Atmosphäre gegenüber. Aber so lang die Erde besteht, wird diese Wechselwirkung zwischen dem Erdkörper und seinen Hüllen, als das eigentlich Treibende in der Fortbildung unseres Planeten, nicht aufhören.

Wir haben gesagt, der eigentliche Grund der Entwicklung liege nicht außer, sondern in dem Individuum selbst. Darum wirkt aber doch auch das Aeußere auf die individuelle Entwicklung hemmend oder fördernd ein. Hemmnisse, wie sie den Organismen im Laufe ihrer Entwicklung entgegentreten und die Weiterbildung der Pflanzen und Thiere bald völlig unterbrechen bald auf falsche Bahnen leiten, scheinen in der planetarischen Entwicklung nicht vorzukommen; hier findet keine individuelle Abweichung von den allgemeinen, fest bestimmten Regeln statt. Aber es ist leicht, allgemeine Einflüsse zu bezeichnen, welche in

Digitized by Google

die Entwicklung der Erde als wesentliche, fördernde Momente eingegriffen haben. Die Wärme, als das physikalische Agens, dem eine allgemeine und eine individuelle Seite zugleich zukommt, steht hier obenan. Die Kälte des Weltraumes und die erwärmenden Strahlen der Sonne waren es, welche in Wechselwirkung mit der eigenthümlichen Wärme des Erdkörpers auf die Umwandlungen der Erde vielfachen Einfluß ausübten; von ihnen wurde theils die Erstarrung des Erdkörpers theils die nachherige Ausbildung der klimatischen Verhältnisse wesentlich mitbedingt. So haben Allgemeines und Einzelnes, welche in der Existenz der Erde überhaupt wirksam sind, auch in der Entwicklung der Erde stets zusammen gewirkt.

Wenn nun auf die ganze, räumliche und zeitliche Existenz des Individuums das Aeußere und Allgemeine einen dauernden Einfluß übt, so muß die Frage entstehen, wie die einzelnen Theile und Zustände des Individuums sich zu den zweierlei Beziehungen seiner Existenz, zu der allgemeinen und zu der individuellen verhalten, ob sie sich nicht bald mehr der ersteren, bald mehr der letzteren Seite zuwenden. So ist es in der That, und die Erde kann auch hier als einleuchtendes Beispiel dienen. Die allgemeinen physikalischen Agentien, Schwere, Wärme und Licht, welche auf die verschiedenartigen Theile unseres Planeten wirken, kommen nicht blos von Außen. Die Erde ist nicht nur ein Spiegel äußerer Einflüsse, sondern sie hat einzelne jener allgemeinen Agentien in sich selbst aufgenommen; es kommt ihr eine eigene Schwere und eigene Wärme zu; vom Erdkörper aus wirken diese beide Agentien. Ebenso richtet sich während der Entwicklung der Erde die Bewegung, die Thätigkeit aller ihrer Theile nicht blos auf die vollkommene Herausbildung der Individualität; sondern nur der Erdkörper vertritt die Seite der Individualisirung, der festen Gestaltung, und die Hüllen der Erde trachten danach, das Individualisirte wieder zu verwischen und zu allgemeineren, weniger bestimmten Formen zurückzuführen. Was endlich die Entwicklung der Erde im Ganzen

Digitized by

betrifft, so bildet der Anfang derselben einen deutlichen Gegensatz zu dem Ende. Dort findet sich der allgemeine Charakter des anfänglichen planetarischen Individuums: die feurigflüssige, von einer gasförmigen Hülle umgebene Kugel; hier, am Ende der Entwicklung tritt in Höhen und Tiefen, in Continenten und Meeren der eigenthümliche Charakter des Erdindividuums hervor. So stellt sich die Erde, so stellt sich das Individuum überhaupt dem Allgemeinen nicht durchaus als ein Einzelnes gegenüber. Vielmehr wird das Individuum erst dadurch zu einem selbständigen Geschöpfe, daß es in sich selbst, in seinen Theilen und Zuständen wieder den Gegensatz des Allgemeinen und Einzelnen entwickelt, daß es von dem Allgemeinen, welches über ihm steht, selbst wieder etwas in sich aufnimmt. Das Individuum spiegelt daher in sich jenes größere Ganze ab, zu dem es selbst als ein Glied gehört. Allgemeines und Einzelnes sind auch in dem Individuum zur Einheit verbunden.

In welcher Beziehung steht nun Gott zu der Entwicklung, zur Existenz des Individuums überhaupt? Wir setzten voraus, daß in der ersten, von Gott ausgehenden Anordnung des Individuums ein Anstoß liege, welcher den anfänglichen Zustand nicht fortbestehen lasse, sondern bis zur Erreichung eines gewissen Höhepunktes ununterbrochene Veränderungen des Individuums hervorrufe. Hier haben Manche angenommen, der göttliche Einfluß höre auf, sobald das Individuum geschaffen sei, und die weiteren Veränderungen desselben treten nicht nach dem fortwährenden göttlichen Willen, sondern nach einer einfachen Naturnothwendigkeit ein. Das Individuum verhielte sich hienach zu seinem Urheber ähnlich, wie das Ei eines Thieres, eines Vogels oder einer Schildkröte, zum mütterlichen Organismus. Sobald das Ei gebildet ist, reißt es sich von seinem Ursprunge los; es enthält alle Bedingungen, um unabhängig vom Mutterorganismus, durch eigene Substanz und eigene Bewegung die Stufen seiner Entwicklung zu durchlaufen.

Digitized by Google

Dieser Vergleichung widersprechen aber dringende Thatsachen. Was an der Erde während ihrer Entwicklung geschieht, ist keineswegs reine Folge der ursprünglichen Zusammensetzung des Planeten; sondern zu oft wiederholten Malen sind wesentlich neue Gestalten an der Erdoberfläche aufgetreten; jede neue organische Form war ein neues Geschöpf aus der Hand des göttlichen Urhebers.

Die späteren Untersuchungen werden zur Genüge darthun, daß die Organismen nicht als einfache Consequenzen der tellurischen Verhältnisse betrachtet werden können. Sie passen wohl zu der sie umgebenden Schöpfung; aber kein Naturforscher wäre im Stande, die Nothwendigkeit ihrer Entstehung aus dem Klima, aus dem Verhalten von Continenten und Meeren mit ähnlicher Sicherheit abzuleiten, wie wir die Entstehung eines Minerales aus den allseitig erwogenen Verhältnissen eines bestimmten Ortes vorhersagen können. Ebensowenig begreift sich das eigentliche Wesen der Organismen aus der Natur des Planeten, welchen sie bewohnen. Sie sind durchaus Geschöpfe eigener Art; sie sind an der Erdoberfläche in Uebereinstimmung mit den tellurischen Verhältnissen, aber mit neuen Zwecken und mit eigenthümlicher Bedeutung geschaffen worden. Daher war das Auftreten der ersten Pflanze und des ersten Thieres ein deutlicher Beweis von der ununterbrochenen Einwirkung des göttlichen Urhebers. Und in jeder neuen Art von Thier oder Pflanze hat sich dieser Beweis aufs Neue wiederholt; denn von allen nüchternen Naturforschern wird es jetzt als ein hoher Grad von Lächerlichkeit erkannt, alle organischen Formen aus den zuerst geschaffenen durch allmählige Uebergänge entstehen zu lassen. Gott hat jede neue Art, er hat das organische Reich jeder neuen Erdperiode mit ungetrübter Weisheit und Macht erschaffen. Die letzte neue Art, welche erschaffen wurde, war der Mensch; aber wir werden später zeigen, daß auch seit der Entstehung des Menschen der schöpferische Wille Gottes im Reiche des Natürlichen niemals geruht hat.

Digitized by

Aus diesen Thatsachen geht deutlich hervor, daß Gott die Erde nicht, wie einen organischen Keim, gleich nach ihrer Entstehung der eigenen Weiterbildung überlassen, sondern daß er in ihre Existenz immer wieder von Neuem schaffend eingegriffen hat. Aber auf diesen wiederholten schöpferischen Einfluß hat sich die Wirkung Gottes in dem Erdindividuum nicht beschränkt. Die Existenz der Natur überhaupt läßt sich ja (S. 173) weder aus einer natürlichen Grundkraft, noch aus einer ursprünglich vorhandenen Materie begreifen. Wo daher Geschaffenes existirt, da bedarf es zu seinem Bestehen den erhaltenden Einfluß Gottes. Und so haben wir in der Erde und in jedem Individuum zweierlei zu unterscheiden, das erhaltende und das stets neu schaffende Wirken des höchsten Wesens. Wir sind aber jetzt auch im Stande, das Charakteristische des Individuums und seinen Unterschied von der Maschine schärfer zu bezeichnen.

Der Grund der Entstehung liegt außerhalb sowohl für das Individuum als für die Maschine, dort in dem schaffenden Gott, hier in dem erfindenden und bauenden Künstler. Aber für die Maschine ist auch der Zweck der Existenz blos ein äußerer, nämlich die Hervorbringung irgend eines mechanischen Effektes. Das Individuum trägt zwar auch zu dem Bestehen anderer, nahestehender Individuen bei; es dient insofern auch fremden Zwecken; der oberste Zweck des Individuums ist hingegen, seine Gestalt und seine Thätigkeit zu der höchstmöglichen Stufe von Mannigfaltigkeit und Schärfe auszubilden. Dieses, daß das Individuum den hauptsächlichen Zweck seiner Existenz in sich selbst hat, hängt ohne Zweifel mit jener allgemeinen Seite des Individuums zusammen, welche als das Leitende und Treibende in seiner Natur das höhere, über allen Individuen stehende Allgemeine wiederholt. Darum tritt das Individuum als ein selbständiges Geschöpf Gottes auf. Es bedarf zur Unterstützung seiner inneren Bewegungen zwar äußerer Beihilfe; aber den eigentlichen Trieb zu seinen Bewegungen trägt es doch in sich selbst. Wir müssen auch hier wieder die

göttliche Weisheit anerkennen, welche die Individuen nicht blos in ihrem Innern harmonisch geordnet, sondern auch durch die erste Anordnung jedem den Anstoß gegeben hat, seine einzelnen Theile in ununterbrochener Wechselwirkung zu erhalten, und als Ganzes eine feste Reihe von Entwicklungsstufen zu durchlaufen. In dieser Anordnung liegt etwas Providentielles. Gott hat die Individuen so zubereitet, daß sie zu ihren innern Processen und zu ihrer Fortbildung den schöpferischen Einfluß nicht immer von Neuem bedürfen, sondern daß die erhaltende Wirkung Gottes genügt, um das Geschaffene bis zum Endpunkte seiner Entwicklung sich selbständig fortbewegen und fortbilden zu lassen.

Hier eröffnet sich ein Ausblick auf weitere Gebiete. Was bei der Erde nur in Spuren erkannt wird, das tritt bei den Organismen deutlich hervor, nämlich die Freiheit, mit welcher das Individuum die Grundlagen seiner Existenz, die göttlichen Gesetze seiner Thätigkeit und Gestaltung zur Erscheinung bringt. Das Reich des Organischen wird erst die rechte Gelegenheit darbieten, von dieser Güte Gottes in den natürlichen Dingen weitläufiger zu sprechen.

Mit diesem Ausblicke mag das Reich der Gestirne beschlossen werden. Wie sich die Individuen dieses Reiches verhalten, können wir nur an einem einzigen Repräsentanten, an unserer Erde, genau erforschen. Aber was von dieser bekannt ist, reichte hin, um die Natur der planetarischen Individuen genauer zu bezeichnen, und um insbesondere im Allgemeinen zu bestimmen, was man in der Natur überhaupt unter einem Individuum zu verstehen habe. Die Gesetze der inneren Anordnung und der Entwicklung der Individuen konnten an der Erde genügend nachgewiesen werden; und wir glauben in unsere Schlußfolgerungen nicht so viel Hypothetisches verflochten zu haben, daß die Sicherheit der Resultate dadurch leiden würde.

Die Erde erregt in dem Menschen als der Boden seiner Existenz das Gefühl von Sicherheit und Bestand. Wir kennen

Digitized by Google

zwar ihre früheren Umbildungen; aber das Menschengeschlecht ist in diese selbst nicht verflochten gewesen; es trat erst auf, als alle irdischen Verhältnisse sich befestigt hatten. Anders geschah es mit den Thieren und Pflanzen; mit jeder neuen Erdperiode traten auch neue Formen dieser Organismen auf. Aber trotz dieser Verschiedenheit stimmt der Mensch doch darin mit den andern Organismen überein, daß sie alle in die jetzigen irdischen Verhältnisse sowohl passen als eingreifen. Indessen haben wir schon früher erwähnt, daß aus den irdischen Verhältnissen weder der Mensch noch überhaupt ein Organismus ganz begriffen werden kann. Mit der einen Seite ihres Wesens sind die Organismen in die Existenz unseres Planeten verflochten; mit der andern greifen sie über das Planetarische hinaus in neue, eigenthümliche Gebiete. Wir kennen in der ganzen Schöpfung keine Stelle, die so sehr als Angelpunkt der höchsten Fragen angesehen werden müßte, wie diese Gränze, welche das Planetarische und das Organische von einander scheidet. Zwei Reiche, von welchen jedes sein eigenes Princip, seine eigenthümliche Weise hat, berühren sich hier so innig, daß man verführt werden kann, sie für ein und dasselbe zu halten. Aber die tiefere Beobachtung zeigt, daß Planetarisches und Organisches verschiedene Richtungen verfolgen. Der Organismus entsteht erst nach und auf dem Planeten; er darf nicht nur für eine spätere, sondern auch für eine vollendetere Schöpfung Gottes gehalten werden.

Es ist Aufgabe der folgenden Abschnitte, das Reich des Organischen in seiner Eigenthümlichkeit zu schildern. Das Verhältniß des Organismus zum Planeten kann sich dort erst klar herausstellen. Wie wir aber hier das Reich der Gestirne mit dem Uebergang zu dem organischen Reiche beschließen, so wird am Schlusse unserer Untersuchungen der Gipfelpunkt des Organischen, der Mensch, auf das Reich des Sittlichen die Aussicht eröffnen müssen. Der Weg, den wir bis zu diesem

Digitized by Google

Ziele noch zu durchschreiten haben, ist durch die bisherige Untersuchung schon im Wesentlichen vorgezeichnet.

Die Welt besteht nicht aus ungleichartigen, unzusammengehörigen, zufällig zusammentreffenden Wesen; sondern durch alle Erscheinungen der Natur kann das Wirken allgemeiner Kräfte und die Geltung umfassender Gesetze verfolgt werden. Aber auch diese Gesetzmäßigkeit der wirkenden Naturkräfte erklärt noch keineswegs das Bestehen und den inneren Zusammenhang der Schöpfung; es fehlt an einer Grundkraft, aus welcher die Existenz der übrigen Kräfte sich ableiten ließe; es fehlt ebenso an einem Grundstoffe, an welchem die Naturkräfte als Eigenschaften auftreten könnten. Der Grund der Naturkräfte, der Grund für die Existenz der Natur überhaupt liegt daher über und jenseits der Natur, in dem bewußten Gotte. So gelangten wir zu dem Begriffe des höchsten Wesens, welches, unabhängig von der Natur, die ganze Natur gesetzmäßig geschaffen hat und in ihrer Gesetzmäßigkeit erhält. Weisheit und Macht treten im göttlichen Schaffen und Erhalten gleich herrlich in die Erscheinung. Indessen war mit dieser allgemeinen Existenz und Gesetzmäßigkeit das Wirken Gottes in der Natur noch keineswegs erschöpft. Gott hat nicht die Welt mit abstrakten, überall gleichförmig wirkenden Naturkräften erfüllt; er hat sich in der Schöpfung nicht als abstrakte Vernunft geoffenbart; vielmehr hat er den allgemeinen Kräften einzelne Körper gegenübergestellt, an welchen die Kräfte auf eigenthümliche Weise zur Erscheinung kommen. Gott hat die Welt mit Individuen erfüllt. Er hat zwar diese so gebildet, daß sie in die allgemeinen Naturgesetze gut passen; aber aus unerschöpfter Güte hat er jedem der unzähligen Individuen das Recht gegeben, auf seine eigene Art zu existiren, und als ein Zeichen dieses Rechtes verlieh er jedem eine besondere Gestalt. So stellt sich die Schöpfung dem staunenden Geiste als ein wohlgeordnetes Ganzes dar, in welchem eine Fülle von Individuen sich in eigenthümlicher Weise und zugleich in Uebereinstimmung mit den allgemeinen Gesetzen

Digitized by Google

bewegt; sie stellt sich dar als ein ebenso reiches als regelvolles Werk des weisen, mächtigen und gütigen Gottes.

Gott hat indeß die Individuen nicht blos räumlich von einander unterschieden; auch in der Zeit wechseln die Formen des Geschaffenen. Es scheint, daß der Schöpfer seine Welt erst in der Aufeinanderfolge verschiedener Zustände durch den ganzen Reichthum seiner weisen Plane hindurchführen wollte. Schon im Individuum zeigt sich sehr deutlich diese Aufeinanderfolge; aber es erscheinen auch neue Individuen an der Stelle von alten, untergegangenen, und ganze Reiche der Schöpfung treten erst nacheinander in die Wirklichkeit; erst auf dem fertigen Planeten sind Organismen entstanden. Auch in diesem Wechsel der Zustände offenbart sich Gottes Macht, Weisheit und Güte. Denn wie er auf der einen Seite die Entwicklung der Individuen und die Aufeinanderfolge größerer Schöpfungsperioden nach bestimmten Gesetzen geordnet hat, so ist jedem Individuum in der Verwirklichung dieser Gesetze noch ein gewisses Maaß von Freiheit gegeben. Die göttliche Weisheit zeigt sich aber hier noch vornehmlich in der Vorsicht, welche die ganze Schöpfung und die einzelnen Individuen ursprünglich so anordnete, daß alle späteren Zustände sich aus dem anfänglichen gesetzmäßig entwickeln konnten. Von diesen Stufen der Schöpfung sind bis jetzt die Entwicklungsstufen des Individuums erörtert worden. Die Stufenfolge der einzelnen Reiche des Geschaffenen bleibt den folgenden Abschnitten überlassen. Auf jeder Stufe werden neue Individualitäten hervortreten; aber es bleiben doch immer die Grundverhältnisse, welche wir in ihrer einfachsten Erscheinung an den planetarischen Individuen abgeleitet haben. Wenn im weiteren Verlaufe die Verhältnisse verwickelter und mannigfaltiger werden, so wird auch das göttliche Wirken in reicherer Fülle und in neuen Richtungen sich darstellen; im Menschen aber, wo das Reich des Sittlichen sich öffnet, wird die Macht, Weisheit und Güte Gottes auf der höchsten Stufe sich offenbaren.

Inhalt des ersten Bandes.

Seite

Einleitung 1

Erster Abschnitt.

Die allgemeinen Eigenschaften und Kräfte der Natur 19

1. Cohäsion 23
2. Schwere 29
(Allgemeine Schwere S. 32. — Specifisches Gewicht S. 33)
3. Bewegung und Gleichgewicht 35
(Fall S. 35. — Pendel S. 38. — Centrifugalkraft S. 40. — Hebel S. 44. — Luftdruck S. 47. — Gleichgewicht tropfbarer Flüssigkeiten S. 50. — Capillarität S. 52.)
4. Schall 53
(Wellenbewegung S. 54. — Tonhöhe S. 55. — Instrumente S. 57. — Fortpflanzung S. 62. — Klang S. 65.)
5. Licht 66
(Undulationen S. 66. — Farben S. 69. — Fortpflanzung S. 73. — Prisma S. 78.)
6. Wärme 84
(Veränderungen der Cohäsion S. 84. — Leitung S. 95. — Strahlung S. 98.)
7. Magnetismus 106
(Magnetnadel S. 107. — Vertheilung S. 112. — Diamagnetismus S. 114.)
8. Elektricität 118
(Glas- und Harzelektricität S. 119. — Leitung S. 120. — Vertheilung S. 121. — Galvanismus S. 127. — Strom S. 130. — Thermoelektricität S. 134. — Elektromagnetismus S. 134.)
9. Chemischer Proceß 138
(Chemische Verbindung S. 142. — Chemische Affinität S. 144. — Verbrennungen S. 148. — Chemische Zersetzung S. 149.

Digitized by Google

Seite

— Elektrochemie S. 154. — Einfache und zusammengesetzte Körper S. 155. — Basen und Säuren S. 156. — Aequivalente S. 159.)

Uebersicht 160

Zweiter Abschnitt.

Das Reich der Gestirne 178

1. Die Bewegung der Gestirne 182
(Axendrehung S. 183. — Elliptische Bahn S. 186. — Schiefe der Ekliptik S. 189. — Planeten S. 192. — Monde S. 195. — Kometen S. 197. — Störungen S. 201. — Sonne S. 202. — Fixsterne S. 203. — Doppelsterne S. 205. — Medium des Himmelsraumes S. 208.)
2. Ausstrahlung von Licht und Wärme 211
3. Die innere Zusammensetzung und die äußere Gestalt der Gestirne 217
(Planeten S. 219. — Meteorsteine S. 224. — Abplattung S. 228. — Frühere Zustände S. 230. — Monde S. 234. — Kometen S. 240. — Sonne S. 243. — Nebelflecke S. 247.)

Uebersicht 252

Dritter Abschnitt.

Die Erde 269

I. Der jetzige Zustand der Erde 278

1. Die allgemeinen Verhältnisse 279
(Höhen und Tiefen der Erdrinde S. 280. — Regionen S. 284. — Zonen S. 286. — Jahreszeiten S. 289. — Isothermen, Isotheren und Isochimenen S. 293. — Binnen- und Inselklima S. 296. — Bild der Continente und Meere S. 299. — Entsprechende Vertheilung der Organismen S. 313. — Erdmagnetismus S. 316.)
2. Die Bewegungen in Atmosphäre, Gewässern und Erdrinde 325
(Luftströmungen S. 326. — Meeresströmungen S. 333. — Bewegung von Sand S. 339. — Bewegungen der Bäche

Seite

und Flüsse S. 342. — Zertrümmerung und Absatz von Mineralien S. 343. — Aehnliche Wirkungen des Meeres S. 347. — Deltabildungen S. 348. — Gletscher S. 351. — Erdbeben S. 356. — Hebungen und Senkungen der Erdrinde S. 359. — Vulkane S. 363. — Quellen S. 366. — Luftelektricität S. 370. — Polarlichter S. 374. — Die Organismen S. 377.)

3. Die chemischen Processe 382

(Atmosphäre S. 383. — Erdkörper S. 385. — Zersetzung der Erdrinde S. 390. — Chemische Neubildung S. 397. — Die Organismen S. 400. — Verkohlung S. 403. — Versteinerung S. 408. — Krystallbildung S. 412.)

II. Die früheren Zustände der Erde 413

(Die erste Erdrinde S. 416. — Geschichtete Gesteine S. 418. — Massige Gebirgsarten S. 421. — Faltung der Erdrinde S. 425. — Alter der Erdschichten S. 431. — Fossile Organismen S. 432. — Altersunterschiede der Gebirgsarten S. 435. — Metamorphismus S. 437. — Ausbildung der Continente und Meere S. 438. — Ausbildung des Klima's S. 444. — Erratische Blöcke S. 447. Entsprechende Ausbildung der Organismen S. 451.)

Uebersicht 460

Berichtigungen.

S. 195 Z. 4 v. o. statt sechszehn lies zwanzig.
— 329 — 3 — nach Nordwinde — und Südwinde.
— 330 — 1 — statt a lies b.

Digitized by Google

Gott in der Natur.

Digitized by Google

Gott in der Natur.

Die

Erscheinungen und Gesetze der Natur

im Sinne der Bridgewaterbücher

als Werke Gottes

geschildert

von

Dr. Otto Köstlin,

Professor der Naturgeschichte am k. Gymnasium zu Stuttgart.

Mit zahlreichen Abbildungen.

Zweiter Band.

Stuttgart.

1851.

Verlag von Paul Neff.

Digitized by Google

Schnellpressendruck von J. Kreuzer in Stuttgart

Digitized by Google

Vierter Abschnitt.

Das Reich des Organischen im Allgemeinen.

Alle Gestalten sind ähnlich, und keine gleichet der andern.
Göthe.

Wo Gestirne von bestimmter Gestalt sich durch die Himmelsräume bewegen, seien es Planeten, Monde oder Firsterne, überall zeigen sie jene Form, die mit ihrer ganzen Existenzweise aufs Innigste zusammenhängt: die Form der Kugel. Auch die Umwandlungen, welche die Oberfläche der Erde im Laufe von Jahrtausenden erfuhr, haben an ihrer Kugelform überaus wenig verändert; die Pole sind etwas abgeplattet worden; Gebirge haben sich ausgebildet, deren Höhe gegenüber von dem Erddurchmesser kaum in Betracht kommt. So stimmen alle bekannten Gestirne in ihrer Gestalt wesentlich mit einander überein, und jedes einzelne Gestirn weicht in keiner Zeit seiner Entwicklung von der ursprünglichen Kugelgestalt wesentlich ab. Das strenge Gesetz, welches die Bewegungen der Gestirne regelt, hält auch ihre Gestalt in engen Gränzen fest.

In der Gestalt der Organismen zeigt sich viel größere Freiheit. Jeder Organismus weicht von allen andern in seiner Gestalt mehr oder weniger ab. Aber auch der einzelne Organismus bleibt während seines Lebens keineswegs derselbe. Aus der einfachen, geschlossenen Form des Keimes entwickelt sich die Pflanze mit dem ganzen Reichthum ihrer Formen. Während

jenes Zeitraumes, der zwischen Entstehung und Tod in der Mitte liegt, behält auch das Thier nicht dieselbe Gestalt; der Körper des Hühnchens tritt im Ei erst allmählig mit seiner ganzen Gliederung hervor, und nach der Geburt noch wechseln mannigfaltig die Verhältnisse des thierischen Körpers. Diese freiere Gestaltung drängt sich jedem Beobachter nothwendig auf. Der einförmigen Gesetzmäßigkeit der Gestirne tritt die Mannigfaltigkeit, die scheinbare Willkühr in den Formen der organischen Körper entschieden gegenüber.

Was uns an den Gestirnen entzückt, ist vor Allem ihr wohlthuendes Licht, die ruhige Klarheit ihrer leuchtenden Erscheinung. Aber im Pflanzenreiche wird der Reichthum der Formen, der Wechsel der Farben, überhaupt die Mannigfaltigkeit der Gestalten vornehmlich gepriesen; und auch die Thiere fesseln uns nicht blos durch die Vielartigkeit ihrer willkührlichen Bewegungen, sondern ebensosehr durch die unerschöpfte Verschiedenheit ihrer Körperbedeckung, ihrer Bewegungs- und Sinneswerkzeuge. Darum erwecken der nächtliche Sternenhimmel und das mächtige Gestirn des Tages in uns andere Gefühle, als der Anblick einer fruchtbaren, mit verschiedenartigen Gewächsen bedeckten Gegend oder die Betrachtung großer Schaaren von Thieren. Und auf entsprechende Weise ruft die Untersuchung der Organismen im Geiste des Menschen andere Ideen hervor, als die Versenkung in die Welt der Gestirne. Gegenüber von dem unwandelbaren Gesetze, welches die Bewegung und die Gestalt der Himmelskörper bestimmt, tritt im Reich des Organischen ein geheimnißvoller Trieb hervor, welcher weder Thiere noch Pflanzen ihre ursprüngliche Form festhalten läßt, sondern jeden Organismus durch viele Stufen hindurch zur vollen Entwicklung einer ihm eigenthümlichen Gestalt fortreißt. Aus dem einfacheren Ursprunge geht hier nicht blos eine größere Mannigfaltigkeit der inneren Gliederung, wie bei den Gestirnen hervor, sondern an der Oberfläche selbst entwickelt der Organismus vielartige Glieder. Nicht nur in der inneren Anordnung weicht

Digitized by Google

hier ein Individuum vom andern ab; sondern vorzüglich in der Anordnung der äußeren Glieder prägt jeder einzelne Organismus seine individuelle Eigenthümlichkeit aus.

Wie sollen wir diesen inneren Trieb der Gestaltung näher bezeichnen? Es sind offenbar nicht äußere Einflüsse, was den einzelnen Organismus bestimmt, eigenthümliche Formen an sich herauszubilden; hier wirkt offenbar ein Inneres, welches, wenn wir dem Organismus überhaupt eine eigene Existenz zuschreiben, wenn wir ihn nicht für ein bloses Gebilde des Zufalls erklären wollen, mit dem innersten Kerne seiner Existenz im nächsten Zusammenhange stehen muß. Das gestaltende Princip gehört dem Organismus unter allen seinen Eigenschaften am eigensten an. Sollen wir dieses Princip die Seele der Organismen, die Seele der Pflanzen und Thiere nennen? sollen wir annehmen, daß diese Seele als ein immaterielles Princip die organische Gestaltung von Anfang bis zu Ende erregt und leitet?

Die Gestalten der Organismen sind reich und wechselnd; aber mit den Gestalten aller Geschöpfe haben sie dieses gemeinschaftlich, daß sie nicht unmittelbar im vollendeten Zustande aus der Hand des Schöpfers hervorgegangen sind, sondern daß sie mehrere, bald schroffe bald unmerkliche Stufen bis zu ihrer vollständigen Ausbildung zu durchlaufen haben. Ja von der Schöpfung überhaupt, von der ganzen Welt ist anzunehmen, daß sie stufenweise zu dem geworden ist, als was wir sie jetzt kennen. Sollen wir nicht auch für diese Fortbildung der ganzen Welt ein Inneres, Treibendes annehmen, eine Weltseele, welche Ursache und Maaß der Weltentwicklung gewesen ist und noch ist? Von dieser umfassenden, Alles bewegenden Weltseele wären die Seelen der einzelnen Geschöpfe nur abgeleitet, nur die Spiegelbilder des Einen, umfassenden Urbildes.

Sobald die Seele auf diese Weise, sei es im Einzelnen oder im Allgemeinen, als das Princip der Fortbildung und Entwicklung des Geschaffenen aufgefaßt wird, so bedeutet sie etwas nur insofern, als sie das Treibende und Bewegende der

natürlichen Processe darstellt. Sie ist ganz in diese Vorgänge versenkt; sie wirkt nichts außer ihnen; ihre Existenz beginnt und endigt mit diesen Vorgängen. Diese Auffassungsweise ist seit den ältesten Zeiten bei ganzen Völkern und bei einzelnen menschlichen Individuen herrschend gewesen. Die Betrachtung des Wachsthumes und der Entwicklung der Organismen hat auf viele Geister eine solche Macht ausgeübt, daß sie nicht blos in den Pflanzen und Thieren, sondern in der ganzen Welt des Geschaffenen als das Bewegende, Schaffende, Lebenerzeugende nichts annahmen, als eine Weltseele, deren ganzes Wirken in der Entwicklung des Geschaffenen aufgeht. Hier ist folgerichtig kein Anfang und kein Ende des Geschaffenen denkbar; sondern in endloser Aufeinanderfolge werden die Stufen der allgemeinen Entwicklung durchlaufen. Gott ist nichts als die Seele, welche den organischen Proceß der Weltentwicklung treibt und leitet.

Diese Anschauung des Verhältnisses zwischen Gott und Welt hat ihren Ausdruck vorzüglich in der indischen Religion gefunden. In dieser ist das Eine Urwesen ewig, durch sich selbst bestehend, allumfassend; in ihm regte sich der Gedanke, Welten zu schaffen. Aber in das Ei, welches den ersten Keim der ganzen Schöpfung darstellte, ging jenes Urwesen selber ein; in diesem Ei wurde der große Urvater aller Geister, Brahma selbst geboren. Brahma ist nur das allgemeine Lebensprincip der Schöpfung, nicht der bewußte, frei schaffende, über und außer der Welt existirende Gott. Daher unterscheidet sich auch Brahma nicht wesentlich von der Natur; sondern von Brahma steigt eine ununterbrochene Stufenleiter hinab bis zu den Thieren und Pflanzen; in diesen findet sich so gut als im höchsten Wesen, nur verdunkelter, inneres Bewußtsein, Gefühl von Freude und Schmerz. Diese Stufenleiter zu Brahma emporzuklimmen, ist Pflicht jedes einzelnen Wesens. Zu diesem Zwecke hat der menschliche Geist von dem Einzelnen, als einem Bruchstücke, sich abzukehren und auf das Gesammte seine Aufmerksamkeit zu richten. So gelangt die Seele des Menschen endlich nicht blos zur

Digitized by Google

Gemeinschaft, sondern zur Vereinigung und Verschmelzung mit der allgemeinen Weltseele.

Die Religionsansichten der Indier stehen entschieden über dem Schamanismus der mongolischen Stämme (I. 21) und über dem Gestirndienste der Araber und Chaldäer (I. 181). Vor jenem haben sie das Bewußtsein der Gesetzmäßigkeit, vor diesem das Princip einer bedingten, in Formbildung sich äußernden Freiheit voraus. Aber zu wahrhaft sittlichen Grundsätzen ist weder der indische Pantheismus, noch der Schamanismus oder Sabäismus durchgedrungen. Naturmächte bestimmen in allen diesen Religionssystemen nicht blos die natürlichen Vorgänge, sondern auch das menschliche Handeln. Nach der Religion der Weda's sündigt nicht der einzelne Mensch, sondern der Weltgeist bewirkt in dem ächten Brahmanen sowohl Gutes als Böses. Diesem Religionssysteme entsprechen auch ganz die Gestalten, in welchen die indische Kunst die Götter dargestellt hat. Hier herrscht nicht das ruhige Maaß der griechischen Kunst; sondern wie in den Organismen Form aus Form sich unerschöpflich entwickelt, so haben die indischen Künstler nur danach gestrebt, ihre Götter so formenreich als möglich zu bilden. Viele Köpfe bedeuteten Weisheit, viele Arme drückten große Kraft aus, und so ging über der Fülle der Gestalten die harmonische Schönheit verloren. Aber trotz dieser Verirrungen bezeichnet die Religion und Kunst der Indier doch einen bestimmten Fortschritt in der Naturbetrachtung: die organische Formbildung war in das menschliche Bewußtsein aufgenommen, und es fehlte von dieser Stufe aus nur noch ein Schritt, um die höchste Naturauffassung des Alterthumes, die griechische, zu erreichen.

Wir brauchen hier nur mit wenigen Worten anzudeuten, daß die Auffassung Gottes als einer blosen Weltseele nicht die unsrige ist. Diese Auffassung hat während der letzten Jahrzehnte in vielen Kreisen der Gebildeten geherrscht; aber die Ueberzeugung wird immer mächtiger, daß die wahre Existenz und Thätigkeit Gottes über das Wirken einer Weltseele weit hinausgeht.

Digitized by Google

Der freischaffende Gott wird von der geoffenbarten Religion gelehrt; aber auch in der Natur sind Winke genug vorhanden, daß der Entwicklungsproceß der organischen Körper die reiche Fülle und die gewaltige Fortbildung der ganzen Welt des Geschaffenen weder zu erklären noch zu erschöpfen vermag, daß die Welt von einem ganz anderen Wesen bewegt wird, als von jenem nur scheinbar freien Principe, welches das Wachsthum der Pflanze und des Thieres anregt. Wir behalten den Nachweis hiefür den folgenden Erörterungen vor. Es soll zuerst die Natur der Organismen im Allgemeinen und dann die eigenthümliche Beschaffenheit der Pflanzen und der Thiere insbesondere geschildert werden. Den Schluß aber wird die Betrachtung des Menschen bilden.

---

1) Die Organismen und der Planet. Ein unbefangener Beobachter, welcher den innigen Zusammenhang zwischen der Erde und ihren organischen Geschöpfen erwägt, wird nothwendig zu der Frage getrieben, ob denn die Pflanze oder das Thier sich wesentlich von irgend einem andern irdischen Körper unterscheiden, ob sie wirklich etwas Anderes seien, als blose Stücke unseres Planeten. Wir haben schon bei der Betrachtung der Erde eine entgegengesetzte Ansicht ausgesprochen; aber hier ist der Ort, Beweise für unsere Ansicht beizubringen. Die irdischen Substanzen wandern durch das organische Reich und dienen ihm als Unterlage; klimatische Verhältnisse, Continente und Meere bestimmen die Form und Lebensweise der Organismen; worin zeigen sich denn diese selbständig gegenüber von dem Planeten, welchen sie bewohnen?

Wenn auch das Reich der organischen Körper alle seine Grundstoffe aus der umgebenden Natur nimmt, so enthält es doch nicht ohne Unterschied alle die zweiundsechzig Elemente, welche die Chemie jetzt kennt (I. 155). Wir haben vielmehr schon früher (I. 400) bemerkt, daß es nur vier Grundstoffe sind, aus welchen die überwiegende Masse der organischen Körper zu-

Digitized by Google

sammengesetzt ist. Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff tragen fast allein zur Bildung der organischen Substanzen bei. Dazu kommen in untergeordneter Weise Schwefel und Phosphor, Chlor und die verwandten Brom und Jod, endlich die Metalle Kalium, Natrium, Calcium, Magnium und Eisen; in sehr geringer Quantität oder vorübergehend werden auch noch etliche andere Elemente in organischen Körpern angetroffen. So viel ist aber jedenfalls sicher, daß die organischen Körper den vier oben genannten Grundstoffen in Bezug auf die Bildung ihrer Substanz bei Weitem den Vorzug geben. Nicht aus den gewichtigen, schwerbeweglichen Stoffen der Erdrinde, sondern aus dem gasförmigen, leicht beweglichen Materiale, welches die Atmosphäre darbietet, ist die Masse der formenreichen, vielbewegten Organismen genommen.

Aber nicht blos durch diese Auswahl der Grundstoffe stellt sich das organische Reich dem Planeten gegenüber. Es verfolgt seine eigene Bahn noch viel mehr in den Stoffen, welche der Organismus aus den von außen kommenden Elementen zusammensetzt. Wasser, mit Kohlensäure, mit Ammoniak und vielleicht auch mit Stickstoff beladen, bildet die hauptsächliche Nahrung der Pflanzen; es wird vorzüglich durch die Wurzelspitzen ins Innere der Pflanzen aufgenommen. Wasser, Kohlensäure und Ammoniak sind binäre, d. h. je aus zwei Elementen zusammengesetzte Körper. Wenn Wasserstoff mit H, Sauerstoff mit O, Kohlenstoff mit C und Stickstoff mit N bezeichnet, wenn zugleich die Gesetze der chemischen Proportion berücksichtigt werden, so erhält Wasser als seine Formel $H + O$ oder HO, Kohlensäure $C + 2O$ oder CO^2 und Ammoniak $N + 3H$ oder NH^3; d. h. von jenem eigenthümlichen Gewichte, mit welchem der Sauerstoff in alle seine Verbindungen eingeht, von dem Aequivalente des Sauerstoffes (I. 159) ist im Wasser das Einfache, in der Kohlensäure das Doppelte enthalten, und ebenso enthält Wasser Ein Aequivalent, Ammoniak aber drei Aequivalente Wasserstoff. Untersucht man nun die pflanzlichen Säfte

Digitized by Google

innerhalb der Wurzel oder weiter hinauf im Stengel, so lassen diese, je mehr man aufsteigt, immer seltener die aufgenommenen Nahrungsstoffe selbst in sich erkennen; von den aufgesaugten Flüssigkeiten bleibt nur noch ein Theil des Wassers übrig, welches in den organischen Körpern, wie im Mineralreiche, als Auflösungsmittel anderer Substanzen dient. Was ist aus der Kohlensäure, aus dem Ammoniak und aus einem Theile des aufgenommenen Wassers geworden?

Der Saft, welcher im Frühjahre reichlich in den Stämmen der Bäume emporsteigt und zur Bildung neuer Pflanzentheile, neuer Zweige und Blätter verwendet wird, enthält gewöhnlich eine ziemliche, durch den Geschmack nachweisbare Menge von Zucker. Bei anderen Pflanzen, wie beim Zuckerrohre, wird der Stengel während des ganzen Jahres sehr zuckerreich gefunden. Dieser Zucker besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff; wenn man von dem genaueren Verhältnisse seiner Bestandtheile absieht, so lautet seine Formel $C + H + O$. Hier sind drei Elemente direkt mit einander verbunden; die Verbindung ist eine ternäre. Sie läßt sich nicht so betrachten, als ob sie aus mehreren binären bestünde, wie z. B. Potasche, welche Kalium, Kohlenstoff und Sauerstoff enthält, nicht geradezu aus diesen drei Elementen, sondern aus zwei binären Combinationen derselben, aus Kohlensäure und Kali, zusammengesetzt ist. Aehnliche ternäre Verbindungen kommen sowohl im Pflanzen- als im Thierreiche sehr häufig vor. Dahin gehören die verschiedenen Zuckerarten, namentlich der Milchzucker der Säugethiere, dann das Gummi, das Stärkmehl und die Holzfaser der Pflanzen, endlich die flüssigen und festen Fette, welche sowohl in Thieren als in Pflanzen vorkommen. Alles dieß sind stickstofflose, aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzte Substanzen, welche im vegetabilischen und thierischen Stoffwechsel eine sehr bedeutende Rolle spielen. Aber wie in diesen Substanzen drei Elemente unter einander direkt verbunden sind, so treten in andern organischen Stoffen vier Elemente,

Digitized by Google

Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, C, H, O, N, in direkte Verbindung mit einander. Dieß sind die quaternären, stickstoffhaltigen Substanzen des organischen Reiches, nämlich vor Allem der Kleber der Pflanzen, der Faserstoff des thierischen Blutes und Fleisches, der Eiweißstoff und Käsestoff, welche Pflanzen und Thieren gemeinschaftlich zu sein scheinen. Diese stickstoffhaltigen Substanzen vermitteln mit den obengenannten stickstofflosen alle chemischen Processe, die im Innern der Pflanzen und Thiere vor sich gehen.

Es kann kein Zweifel sein, daß die Organismen ihre stickstofflosen und stickstoffhaltigen Bestandtheile aus der Nahrung bilden, die ihnen von außen zugeführt wird. Diese Nahrung ist immer bei den Thieren und nicht selten auch bei den Pflanzen organischen Ursprunges. Aber alle organischen Substanzen haben doch ihre letzte Quelle in der umgebenden, als unorganisch bezeichneten Schöpfung, und die Pflanzen sind die Pforte, durch welche unorganische Substanzen in das organische Reich eingeführt und diesem angeeignet werden. So geben also, wie wir schon früher (I. 400) bemerkten, die Kohlensäure, das Ammoniak und das Wasser, welche in die Wurzeln der Pflanzen eintreten, die Grundstoffe her, aus denen alle stickstofflosen und stickstoffhaltigen Bestandtheile des organischen Reiches zusammengesetzt werden. So viel ist also klar, daß die Organismen mit dem Planeten, den sie bewohnen, die chemischen Elemente ihrer Substanz gemeinschaftlich haben. Eine andere Frage aber ist es, ob der Planet vermag, aus seinen Elementen auch dieselben Stoffe zusammenzusetzen, welche die Hauptmasse der thierischen und pflanzlichen Organismen bilden.

Ehe man die Natur der organischen Körper näher kannte, zweifelte man sehr häufig nicht daran, daß aus dem Zusammentreffen unorganischer Stoffe unter gewissen Umständen nicht blos organische Substanzen, sondern auch ganze niedere Organismen entstehen könnten. Aber mit dem Fortschreiten der chemischen und naturhistorischen Kenntnisse hat sich der Kreis jener

Thatsachen immer mehr verkleinert, aus welchen man auf die selbständige Entstehung organischer Substanzen ohne Dazwischenkunft von Organismen schließen zu dürfen glaubte. Wo z. B. Quellen organische, ternär oder quaternär zusammengesetzte Stoffe mit sich führen, da kommen diese sicher von fossilen Pflanzen oder Thieren der umgebenden Gebirgsarten her. Und ebenso kann die Entstehung ganzer Organismen auf unorganischem Wege als völlig verlassen angesehen werden. Die genaue Beobachtung der Natur liefert also durchaus kein Beispiel, daß jene organischen Stoffe, aus welchen Pflanzen und Thiere bestehen, auch ohne alle Dazwischenkunft von Organismen, blos aus unorganischen Substanzen sich bilden könnten. Aber vermag nicht vielleicht die fortgeschrittene Kunst des Chemikers hierin mehr zu leisten, als die einfacheren Naturprocesse unseres Planeten?

Die Chemie ist allerdings im Stande, gewisse organische Substanzen auf Wegen hervorzubringen, wie sie die Natur niemals einschlägt. Wir sprechen hier zunächst nur von denjenigen Substanzen, welche nicht blos von Organismen herkommen, sondern in die Masse der Pflanzen und Thiere selbst als wesentliche Bestandtheile eingehen. Von solchen Substanzen können nun einige auf künstlichem Wege in andere, ähnliche umgewandelt werden. So wird Stärkmehl durch Behandlung mit verdünnter Schwefelsäure bei höherer Temperatur zuerst in Dextrin und dann in Zucker übergeführt. So verwandelt sich Milchzucker, wenn er bei mäßiger Wärme mit Wasser und faulendem Käsestoff zusammen stehen gelassen wird, in Buttersäure, d. h. in die eigenthümliche, in der Butter enthaltene Fettsäure. Bei allen diesen Umwandlungen bilden wir den neuen organischen Stoff nicht aus unorganischen Substanzen, sondern aus einem schon fertigen Bestandtheile der organischen Körper. Aber es ist das Streben der Chemiker mit Recht dahin gegangen, ohne alle Dazwischenkunft von gebildeten organischen Substanzen, aus blosen unorganischen Stoffen organische Bestandtheile darzustellen.

Digitized by Google

Und man konnte in der That glauben, den Weg zu diesem Ziele aufgefunden und die Anfänge des Weges betreten zu haben.

Blausäure und Essigsäure sind bekanntlich Substanzen, welche aus dem vegetabilischen Reiche herrühren; auch jenes Kohlenwasserstoffgas, welches man als Sumpfluft bezeichnet (I. 404), entwickelt sich bei der langsamen Zersetzung vegetabilischer Stoffe. Es ist gelungen, diese drei Verbindungen rein aus unorganischen Substanzen darzustellen. Von weiteren ähnlichen Beispielen sei nur der Harnstoff erwähnt. Er zeichnet sich vor den drei zuerst genanten Verbindungen durch seinen bedeutenden Stickstoffgehalt und durch sein Vorkommen im Thierreiche aus. Auch Harnstoff kann aus unorganischen Substanzen, welche Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff enthalten, gebildet werden. So erschien die Hoffnung nicht zu sanguinisch, es werde am Ende auch noch gelingen, alle übrigen organischen Substanzen aus unorganischen Materialien darzustellen. Aber bei näherer Betrachtung stellt sich diese Hoffnung nicht als gegründet dar. Um dieses klar zu machen, ist es nothwendig, auf die verschiedenen Klassen der organischen Substanzen einen Blick zu werfen.

Es scheint, daß die unorganischen Nahrungsstoffe der Pflanzen, Wasser, Kohlensäure und Ammoniak, nicht unmittelbar in die erwähnten Pflanzenbestandtheile, in Stärkmehl, Zucker, Fett, Eiweißstoff oder Kleber, übergehen, sondern daß die Bildung dieser Bestandtheile erst nach Zurücklegung mehrerer Zwischenstufen erreicht wird. Insbesondere hält es Liebig für nicht unwahrscheinlich, daß der Bildung von Stärkmehl, Dextrin und Zucker häufig die Entstehung gewisser Pflanzensäuren, wie der Oxalsäure und der Weinsteinsäure vorhergehe. Für die Bildung der stickstoffhaltigen Bestandtheile der Pflanzen haben ähnliche Stufen noch nicht aufgestellt werden können. Aber so viel geht schon aus den bisherigen, sehr lückenhaften Thatsachen hervor, daß die unorganischen Nahrungsstoffe erst nach fortdauernder Einwirkung des pflanzlichen Lebensprocesses so umgewandelt und

Digitized by Google

in neue Verbindungen übergeführt werden, daß sie als wirkliche Bestandtheile der Pflanzen und Thiere, als wesentliche Unterlage des organischen Lebensprocesses dienen können. Den Affinitäten der aufgenommenen Elemente müssen allmählig neue Richtungen gegeben, die binären Verbindungen in ternäre und quaternäre verwandelt werden. Es gibt also neben den wirklichen Bestandtheilen der Pflanzen auch Stoffe, welche erst in der Umbildung zu denselben begriffen sind.

Aehnliche, nur mannigfaltigere Stufen werden durchlaufen, wenn die Bestandtheile der organischen Körper wieder in die umgebende unorganische Natur zurückkehren; aus ternären und quaternären Verbindungen müssen allmählig wieder binäre gebildet werden. Diese Zurückführung geschieht vor Allem durch die Absonderungen der Thiere. Hier scheidet sich der Kohlenstoff in den Lungen mit Sauerstoff als Kohlensäure, in der Leber vorzüglich mit Wasserstoff als Galle aus; hier geht der Stickstoff im Schweiße mit Wasserstoff als Ammoniak, im Urine mit Wasserstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff als Harnstoff weg. In untergeordneter Weise stößt aber auch die Pflanze einzelne Substanzen mehr oder weniger zersetzt wieder aus. So ergießt sich an manchen Stellen Gummi, Zucker und Wachs an die Oberfläche; so entweicht Blausäure als Gas aus manchen Blüthen; so werden die ätherischen Oele, welche aus Kohlenstoff und Wasserstoff, öfters auch aus Sauerstoff bestehen, entweder an der Oberfläche der Pflanzen abgedunstet, oder durch Aufnahme von mehr Sauerstoff in die fernerhin unbrauchbaren Harze verwandelt.

Nur der kleinere Theil dieser Aussonderungen ist an sich schon binär zusammengesetzt; die meisten stehen den Bestandtheilen der Organismen in ihrer Zusammensetzung noch sehr nahe, und werden erst durch weitere Processe vollends in binäre Verbindungen zerlegt. Dieß geschieht durch die natürliche Verwesung; so zerfällt Harnstoff an der Luft in Kohlensäure und Ammoniak. Aber die Verwesung ergreift nicht blos die orga-

Digitized by

nischen Absonderungsstoffe; sondern sie führt auch die ganze Masse der todten Organismen vorzüglich als Kohlensäure, Ammoniak und Wasser in die umgebende Natur zurück. Am mannigfaltigsten hingegen sind die Zersetzungsprodukte, welche die chemische Kunst aus den organischen Substanzen gewinnt. Von der eigenthümlichen Richtung der chemischen Affinitäten, welche die Zusammensetzung der organischen Bestandtheile auszeichnet, klebt auch ihren Zersetzungsprodukten noch lange etwas an. Jede Stufe der Zersetzung läßt sich wieder aufs Mannigfaltigste abändern; an jedes Produkt knüpft sich eine ganze Reihe analoger Stoffe; und so kommt es, daß die große Mehrzahl der vielen Substanzen, welche die organische Chemie jetzt aufzählt und täglich noch vermehrt, zwischen den eigentlichen Bestandtheilen der organischen Körper und den binären, unorganischen Stoffen in der Mitte liegt.

Wir sagten, die Bestandtheile der organischen Körper unterscheiden sich von den unorganischen Substanzen nicht durch neue Elemente, sondern durch eine eigenthümliche Richtung der Affinitäten, welche die Elemente bestimmt, in ternäre und quaternäre Verbindungen einzugehen. Diesem kann jetzt hinzugefügt werden, daß die organischen Bestandtheile gar nicht oder nur in sehr geringem Grade jene Gegensätze darbieten, welche man im Unorganischen als Säuren und Basen bezeichnet (I. 156). Nicht blos die Elemente treten also unter dem Einfluß der organischen Processe in neue Beziehungen zu einander; sondern auch die Gegensätze der Verbindungen werden fast immer von anderen Ursachen bestimmt, als in der unorganischen Natur. Wie man nun sicher ist, sich den unorganischen Verbindungen immer mehr zu nähern, je bestimmter die Zusammensetzung eines Stoffes sich als binär ausweist, ebenso darf man vermuthen, daß die entschiedenen organischen Säuren und Basen nicht den eigentlichen Bestandtheilen der Organismen, sondern jenen Stoffen beizuzählen seien, welche entweder als Stufe der Bildung oder als Stufe der Zersetzung sich zu den organischen Bestand-

Digitized by Google

theilen verhalten. Dahin gehören von den organischen Säuren vorzüglich Weinsteinsäure, Aepfelsäure, Citronensäure, Gerbsäure, Milchsäure, Harnsäure und Essigsäure, von den organischen Basen, welche durchaus Stickstoff enthalten, das Morphin des Opiums, das Chinin der Fieberrinde, das Coniin des Schierlings, das Caffein, das dem Thee und Kaffee gemeinschaftlich ist, endlich aus dem Thierreiche das Kreatinin des Muskelfleisches und der Harnstoff des thierischen Urines.

Faßt man diese verschiedenen Punkte zusammen, so ist klar, daß die wenigen organischen Substanzen, welche bisher blos aus unorganischen Stoffen hervorgebracht werden konnten, durchaus nicht den eigentlichen Bestandtheilen der Organismen angehören. Blausäure, Essigsäure, Sumpfgas, Harnstoff sind natürliche oder künstliche Zersetzungsprodukte der organischen Bestandtheile. So weit unsere chemischen Kenntnisse gehen, sind wir daher berechtigt, als sehr wahrscheinlich, wenn nicht als sicher anzunehmen, daß weder die unorganische Natur, noch die chemische Kunst der Menschen im Stande ist, die wesentlichen Bestandtheile der Organismen aus unorganischen Stoffen allein darzustellen. Der Stoffwechsel der Organismen wird durch andere Regeln bestimmt, als die chemischen Processe unseres Planeten, und die menschliche Chemie kann nur die letzteren verfolgen oder nachahmen. Organismus und Planet bestehen aus denselben Elementen; aber die Bedingungen für die Verbindung dieser Elemente sind in beiden Fällen nicht dieselben. Dieser chemische Unterschied ist der erste, welcher zwischen Planet und Organismus hervorgehoben werden muß; er ist so scharf ausgeprägt, daß man allen Grund hat anzunehmen, er werde durch künftige Untersuchungen nicht aufgehoben werden. Ein solcher Unterschied schließt natürlich die innige Wechselwirkung zwischen Organismus und Planet keineswegs aus. Es sind planetarische Grundstoffe, aus welchen der Organismus seine Bestandtheile bildet, und welche er am Ende wieder an den Planeten zurückgibt. Ueberdieß nehmen aber (I. 406) auch einzelne unorganische

Digitized by Google

Verbindungen, wie Kali, Natron, Kalkerde, Kieselsäure, Phosphorsäure, untergeordnet an der Zusammensetzung der Organismen Theil; sie finden sich theils in den organischen Säften, theils besonders in den festen Theilen, in den Skeleten der Thiere und Pflanzen.

Die Organismen bedürfen zu ihrem Bestehen also nicht blos eigenthümliche, ternäre und quaternäre, stickstofflose und stickstoffhaltige Verbindungen, sondern in untergeordneter Weise auch unorganische Substanzen, d. h. Bestandtheile des Planeten. Das chemische Verhältniß zwischen Organismus und Planet kann daher nur richtig ausgedrückt werden, wenn man zugleich die Verschiedenheit und den innigen Zusammenhang der beiden Gebiete hervorhebt. Das organische Reich wurzelt in dem Planeten; es nimmt aus diesem alle seine Substanz; aber es verwandelt das Aufgenommene fast durchaus in neue, eigenthümliche Verbindungen. Zu dieser Umwandlung taugen vorzüglich die atmosphärischen Elemente, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff; diesen stehen Schwefel und Phosphor noch am nächsten. Die Metalle aber, welche die vornehmliche Grundlage des Erdkörpers bilden, gehen in die Organismen nur in kleinen Mengen und in Form von unorganischen Verbindungen ein. Nur das Eisen, welches in der Erde sehr reichlich vorkommt und durch seine magnetischen Eigenschaften den Vorrang vor allen übrigen Metallen behauptet, scheint in die organischen Bestandtheile selbst einzugehen; es ist offenbar dem organischen Reiche verwandter, als irgend ein anderes unter den Metallen.

Wir haben früher gesagt (I. 477), Organisches und Planetarisches verfolgen eine verschiedene Richtung. Die chemische Seite dieser Verschiedenheit ist jetzt dargethan; aber es muß ebenso nachgewiesen werden, daß beide Gebiete in physikalischer Beziehung auseinandergehen.

An Allgemeinheit steht der chemischen Affinität unter allen physikalischen Agentien vorzüglich die Cohäsion (I. 23 ff.) gleich. Es läßt sich daher schon zum voraus vermuthen, daß die wesent-

Digitized by Google

lichen Gesetze der Cohäsion auch für die organischen Körper ihre Geltung haben werden. Wie die Organismen mit der Erde die chemischen Grundstoffe theilen, so lassen sich in jenen dieselben Cohäsionszustände unterscheiden, wie in den unorganischen Körpern. Aber selbst die Cohäsionskraft, welche doch durch die Gleichförmigkeit ihrer Wirkung sich vor allen andern Naturkräften auszeichnet, äußert sich in den Organismen auf eigenthümliche Weise. Die Stoffe, welche unsern Planeten und seine Hüllen zusammensetzen, gehören immer entschieden dem einen der drei Cohäsionszustände, dem festen, dem tropfbarflüssigen oder dem gasförmigen an. In den Organismen hingegen sind diese Unterschiede nicht so entschieden ausgesprochen, und insbesondere finden sich zahlreiche Mittelstufen zwischen dem festen und tropfbarflüssigen Zustande. Die Knochen und Zähne, die Muschelschalen der Thiere, das Holz der Bäume gehören zu den festesten Substanzen, welche das organische Reich aufweisen kann. Aber auch diesen festen Theilen fehlt es während des Lebens nicht ganz an Feuchtigkeit, an Tränkung mit organischen Säften. Ebenso gibt es in den Pflanzen und Thieren tropfbare Flüssigkeiten; aber sie enthalten immer feste Substanzen in sich aufgelöst, und diese werden bisweilen so überwiegend, daß ein sehr geringer Anstoß hinreicht, um sie in die feste Form zurückkehren zu lassen; so erstarrt der Faserstoff des thierischen Blutes von selbst, sobald dieses aus der Ader gelassen wird. Die Mehrzahl der thierischen und pflanzlichen Organe besteht indeß aus Substanzen, welche weder als fest, noch als tropfbarflüssig, sondern nur als w e i ch bezeichnet werden können, welche also eine leichte Verschiebung zulassen, ohne doch den inneren Zusammenhang ihrer Theilchen zu verlieren. Dahin gehören die meisten Gewebe der Pflanzen, die Muskel, die Nerven und Häute der Thiere. Was endlich die Gase betrifft, so treten diese in freiem Zustande während des Lebens der Organismen nur sehr untergeordnet auf; sie sind fast immer in den thierischen

Digitized by Google

und pflanzlichen Säften aufgelöst, und greifen von diesen aus in den allgemeinen Stoffwechsel ein.

Während die drei Bestandtheile unseres Planeten, der Körper, die wäßrige Hülle und die Atmosphäre als die Repräsentanten der drei Cohäsionsformen der Körper überhaupt sich entschieden gegenüber treten, während die Cohäsionszustände jener drei Bestandtheile mit ihren übrigen Beziehungen im nächsten Zusammenhange stehen, erhalten die Cohäsionsunterschiede in den Organismen eine geringere Wichtigkeit. Die Gegensätze der Cohäsion treten für die organischen Körper zugleich mit dem chemischen Gegensatze von Säuren und Basen in den Hintergrund; diese Gegensätze der unorganischen Schöpfung müssen durch neue, organische Unterschiede ersetzt werden; es muß in den Organismen ein neues Princip die einzelnen Theile in lebendige Wechselwirkung zu einander bringen. Dieses Princip wird durch die weitere Erörterung klarer werden.

Nächst der Cohäsion kommt für die organischen Körper die Schwere in Betracht. Wie alle Körper, welche sich an der Oberfläche unseres Planeten befinden, so haben auch alle Organismen eine viel zu geringe Masse, um gegen die Masse des Erdkörpers irgendwie in Betracht zu kommen. Sie verhalten sich daher in Bezug auf die Schwere ganz passiv; sie werden von der Erde angezogen und festgehalten, ohne selbst wieder andere Gegenstände anziehen zu können. Aber der erste Blick zeigt, daß es bei allen organischen Körpern Bewegungen gibt, welche von der Schwere unabhängig, welche sogar den Wirkungen der Schwere entgegengesetzt sind. Dahin gehören die Ortsveränderungen, welche mit dem Wachsthum der Organismen in Verbindung stehen; so erhebt sich die Spitze des Pflanzenstengels trotz der Schwere immer höher über den Boden. Von diesen Bewegungen durch Wachsthum kann aber hier zunächst nicht die Rede sein. Wir meinten vielmehr jene Bewegungen, welche mit vorübergehender Ortsveränderung verbunden sind und aus denen der Organismus bald wieder in seine

vorherige Lage zurückkehrt. Solche Bewegungen treten nur bei wenigen Pflanzen und nur bei wenigen Pflanzentheilen, vornehmlich bei den Blättern der Mimosa, deutlich hervor; sie sind bei den Thieren als charakteristisches Merkmal ausgebildet. Wir werden daher bei ihrer Erörterung meist nur auf die Thiere Rücksicht nehmen.

Wenn das Thier seinen Kopf oder irgend eines seiner Glieder erhebt, so wirkt es offenbar der Schwere entgegen, welche die gewichtigen Theile seines Körpers abwärts, nach dem Erdmittelpunkte hin zieht. Wenn das Thier einen anderen, ruhenden Körper, z. B. einen Stein, von der Stelle bewegt, so hebt es auch hier eine Folge der Schwere auf; denn durch diese wird der Stein auf seiner Unterlage festgehalten. Betrachtet man diese Bewegungen des Thieres näher, so bemerkt man leicht, daß sie freilich von der Schwere nicht völlig unabhängig sind; überall kommt das Gewicht des thierischen Körpers und seiner Glieder oder der äußeren, vom Thiere bewegten Gegenstände sehr wohl in Betracht. Bei jeder thierischen Bewegung wirkt daher die äußere Schwere und ein inneres, der Schwere entgegengesetztes Princip zu dem Erfolge, den wir beobachten, zusammen. Wir können diese beiden Momente am besten mit der Centripetalkraft und Centrifugalkraft (I. 40, 191) vergleichen. Wenn in unserer Erde nichts wirksam wäre, als die Schwerkraft, so müßte unser Planet auf die Oberfläche der massigen Sonne stürzen; oder vielmehr er hätte sich nie von diesem Centralkörper entfernen können. Die Centrifugalkraft erhält den Planeten in der ihm eigenthümlichen Entfernung von der Sonne; er ist abhängig von dem Centralkörper; aber die Centrifugalkraft macht, daß er als Individuum seine eigene Bahn verfolgt. Auf ähnliche Weise wirkt die Schwere vom Erdmittelpunkte aus auf alle organischen Bewegungen; aber im organischen und vorzüglich im thierischen Individuum muß eine Kraft angenommen werden, welche, ähnlich der Centrifugalkraft, den Organismus fähig macht und an-

Digitized by Google

treibt, als Individuum selbständige Bewegungen auszuführen.

Welcher Art ist diese Kraft der selbständigen Bewegung in den Organismen? Aus ihrer Aehnlichkeit mit der Centrifugalkraft der Planeten kann sie nicht weiter erklärt werden. Denn einmal wissen wir über die Natur dieser Kraft selbst nichts Bestimmtes, und dann ist die organische Bewegungskraft von der Centrifugalkraft in ihrer Wirkungsweise wesentlich verschieden; sie äußert sich nicht, wie diese, ununterbrochen und gleichförmig, sondern sie ruht und tritt dann plötzlich wieder in Thätigkeit; sie steigert und vermindert abwechselnd ihre Wirkungen. Es ist hier noch nicht möglich, auf die inneren Bedingungen, auf den Mechanismus der organischen und insbesondere der thierischen Ortsbewegungen näher einzugehen. Aber auch wenn wir nur bei der allgemeinen Bemerkung stehen bleiben, daß jene Bewegungen zu ihrer Erklärung eine eigenthümliche, im organischen Individuum selbst wohnende Kraft voraussetzen, so drängt sich unwillkührlich die Vergleichung mit anderen, näher bekannten Naturkräften (I. 162) auf.

Schwere, Cohäsion und chemische Affinität können bei dieser Vergleichung nicht in Betracht kommen; denn sie haben ihre Stelle schon in anderen Beziehungen des organischen Körpers gefunden. Aber es erscheint nicht unpassend, die Bewegungskraft der Organismen mit der magnetischen oder elektrischen Kraft zu vergleichen. Auch diese polaren Kräfte ruhen zeitweise und treten dann plötzlich und mit verschiedener Intensität in die Erscheinung. Vor Allem ist indeß die elektrische Kraft mit der Bewegungskraft der Thiere schon oft verglichen worden. Sie gleicht ihr äußerlich, in der Schnelligkeit und Abwechslung ihrer Erfolge; aber auch innerlich läßt sich eine Aehnlichkeit beider nicht läugnen. Wenn das Leben eines Thieres gewichen ist, wenn also die gewöhnlichen Motive zu Bewegungen in seinem Körper nicht mehr vorhanden sind, so lassen sich diese Motive am ehesten noch durch elektrische Reize ersetzen. Galvanische

Digitized by Google

Elektricität ruft in einzelnen Muskeln und in allen Bewegungsorganen des thierischen Körpers Zuckungen hervor. Der Magnetismus wirkt durchaus nicht in derselben Weise, und man ist daher berechtigt, von diesem hier abzusehen und eine besonders innige Beziehung zwischen der elektrischen Kraft und den Muskeln, d. h. jenen Theilen des Organismus anzunehmen, durch welche die thierische Bewegungskraft im normalen Zustande ihre Effekte hervorbringt. Soll man darum annehmen, auch im Leben wirke auf unsere Muskel nichts Anderes, als die elektrische Kraft, und das Gehirn, von welchem die Motive zu willkührlichen Bewegungen ausgehen, sei nichts Anderes, als eine elektrische Batterie, welche vom Willen bestimmt werde, sich zu entladen und die Muskel des Körpers in Thätigkeit, die Glieder in Bewegung zu setzen?

Solche Ansichten herrschten am Anfange dieses Jahrhunderts vielfach nicht nur bei Laien, sondern auch bei bedeutenden Männern der Wissenschaft. Aber sie waren nicht auf sichere Beobachtung gegründet, sondern Folgen der Selbstüberhebung, welche im Geiste des Menschen durch jede großartige Entdeckung erzeugt wird. Galvani hatte damals die Wirkung der Elektricität auf die thierischen Bewegungsorgane zuerst nachgewiesen und dadurch der Beobachtung ganz neue Bahnen geöffnet. Indeß verschwanden die ersten, zu weit greifenden Phantasieen; die ruhige Wissenschaft schritt unverdrossen weiter, und es scheint erst der jetzigen Zeit vorbehalten zu sein, das Verhältniß zwischen Elektricität und organischer Bewegungskraft richtig festzustellen. Die Untersuchungen Dubois-Reymond's haben in dieser Frage Epoche gemacht. Wir müssen die nähere Erörterung dieser Punkte auf den Abschnitt verschieben, welcher von dem thierischen Organismus handelt. Hier soll nur das allgemeine Resultat aus den bisherigen Beobachtungen gezogen werden.

Die Kraft, welche die Ortsbewegung organischer Körper vermittelt, welche insbesondere vom Gehirne der höheren Thiere aus auf alle ihre Muskel erregend einwirkt, ist mit der Elek-

Digitized by Google

tricität jedenfalls nahe verwandt. Sie kann bis auf einen gewissen Grad von der elektrischen Kraft ersetzt werden, und in den elektrischen Organen einiger Fische regt sie selbst starke elektrische Processe an. Darum erscheint aber elektrische Kraft und organische Bewegungskraft doch nicht identisch. Ihr Verhältniß ist nicht völlig dasselbe, aber es theilt Manches mit den Beziehungen, welche zwischen der Elektricität einerseits und dem Magnetismus und der chemischen Affinität andrerseits stattfinden. Die organische Bewegungskraft hat daher in der unorganischen Natur zwar ein Analogon; aber sie selbst tritt nur in den organischen Körpern auf. Die Kraft, welche die Organismen bewegt, ist also eben so gut eigener Art, als die Richtung der chemischen Affinitäten, durch welche die Grundstoffe der organischen Körper unter einander verbunden werden. Die chemischen Grundstoffe, die allgemeinen Gesetze der Cohäsion und Schwere hat der Organismus mit der umgebenden, unorganischen Schöpfung gemein. Aber die Verbindung seiner Grundstoffe und die Bewegung seiner einzelnen Theile wird durch ein neues Princip bestimmt, welches dem Planeten fehlt.

Eigenthümliche chemische Zusammensetzung und eigenthümliche Kraft der Bewegung sind die zwei Punkte, um welche sich die Frage nach dem Verhältnisse zwischen Organismus und Planet vorzüglich bewegt. Wer annimmt, daß Thiere und Pflanzen nichts seien, als Effekte eines zufälligen Zusammentreffens tellurischer und atmosphärischer Einflüsse, der kann die chemische Beschaffenheit der Organismen für nicht wesentlich verschieden von der Zusammensetzung der unorganischen Körper halten, der muß die organischen Bewegungen aus allgemeinen Naturkräften, am besten aus der Elektricität herleiten. Wir haben schon früher darauf hingewiesen (I. 477), welche Wichtigkeit dieser Frage für die Auffassung der ganzen Schöpfung zukommt. Eine unbefangene Erwägung der Thatsachen scheint uns den Schluß völlig zu rechtfertigen, daß den Organismen Eigenschaften zukommen, welche dem Planeten fehlen, welche sich auch nicht mittelbar

aus Eigenschaften des Planeten ableiten lassen. Als Organismen auf der Erde entstanden, erschienen sie also nicht als eine Wiederholung früherer, veränderlicher Processe, sondern als ein Neues, dessen Bedingungen in der Existenz des Planeten nicht vollständig gegeben waren. Hier hat offenbar die schöpferische Macht Gottes den älteren Existenzweisen eine neue hinzugefügt; hier treffen die Resultate der Naturforschung zusammen mit den religiösen Wahrheiten, welche die Welt als eine freie und nie abgeschlossene Schöpfung des allmächtigen und allweisen Gottes darstellen.

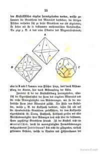
---

2) **Organismus und Krystall.** Wo reine Mineralien ohne mechanische Hindernisse fest werden, sei es aus dem geschmolzenen oder aus dem aufgelösten Zustande, da nehmen sie Krystallform an (I. 412). Welcher Art diese Form ist, richtet sich in der Regel genau nach der chemischen Beschaffenheit des Minerals, und wird nur in untergeordneter Weise durch äußere Einflüsse, namentlich durch Temperaturunterschiede bestimmt. Aber trotz diesem wesentlichen Zusammenhang zwischen Krystallform und chemischem Verhalten hat doch jedes einzelne Mineral in der Ausbildung seiner Formen einen größeren oder kleineren Spielraum.

Die Hauptsache nämlich bei der Krystallform ist nicht die Größe des Krystalls im Ganzen oder in einzelnen Dimensionen; sondern die gegenseitige Richtung der Flächen, die Winkel und die gegenseitigen Beziehungen der Kanten sind Alles, was bei der Bestimmung eines Krystalles in Betracht kommt. Daher läßt auch die Krystallographie sehr wohl eine streng mathematische Behandlung zu; alle Flächen-, Kanten- und Winkelverhältnisse lassen sich in bestimmten Figuren und Zahlen ausdrücken. Hier gilt nun im Allgemeinen die Regel, daß jedes Mineral seine eigenthümlichen Verhältnisse hat, daß die Verhältnisse des einen Minerales sich nicht mathematisch auf die des andern zurückführen lassen. Aber an jedem einzelnen Mineral können aus

Digitized by Google

den Krystallflächen einzelne herausgefunden werden, welche zusammen die Grundform des Minerales darstellen; die übrigen Flächen verhalten sich zu dieser Grundform nur als abgeleitete; sie stehen mit ihr in bestimmten mathematischen Verhältnissen. So zeigt z. B. A das reine Oktaeder des Magneteisensteines;



aber in B und C kommen neue Flächen hinzu, dort durch Abstumpfung der Kanten, hier durch Abstumpfung der Ecken.

Zweierlei ist bei der Krystallbildung hervorzuheben, nämlich die Eigenthümlichkeit der Form des einzelnen Minerales und die reiche Mannigfaltigkeit von Abänderungen, wie sie die wesentliche Form jedes Minerales zuläßt. Die Fülle von Gestalten, welche z. B. der Kalkspath darbietet, lassen sich alle auf die rhomboedrische Grundform zurückführen, die dem Kalkspathe eigenthümlich ist; Quarz, Flußspath, Feldspath greifen mit aller Verschiedenartigkeit ihrer Bildungen doch nicht über die bestimmte, ihnen zugehörige Grundform hinaus. Ist der Krystall nicht ein mineralisches, durch die mannigfaltigsten Formabänderungen ausgezeichnetes Individuum? sind nicht die glänzenden, vielfach geformten Gesteine, welche in Spalten und Höhlenräumen der

Digitized by Google

Gebirge unsere Aufmerksamkeit fesseln, eben so gut Individuen, als die Pflanzen des Erdbodens oder die zahllosen Gestirne des Firmamentes?

Es gehört allerdings zur Individualität vor Allem (I. 257), daß ein Körper räumlich begränzt und vor anderen durch eigenthümliche Eigenschaften, insbesondere durch eine eigenthümliche Gestalt ausgezeichnet sei. Von dieser Seite allerdings scheint dem Krystalle nichts zur Individualität zu fehlen. Aber das Individuum wird nicht blos durch diese äußere Abschließung und Unterscheidung charakterisirt; vielmehr fanden wir (I. 462), daß das planetarische Individuum, daß das Individuum überhaupt in sich nicht gleichartig, sondern aus ungleichartigen, sich wechselseitig bedingenden Theilen zusammengesetzt ist. Diese Zusammensetzung fehlt dem Krystalle vollständig. Ein vollkommener Krystall bildet sich ja gar nicht aus, wenn die Lösung, aus welcher er gewöhnlich fest wird, nicht chemisch rein und auch mit festen Substanzen nicht vermengt ist. Der Krystall stellt daher den reinsten Zustand dar, in welchem ein Mineral überhaupt ohne künstliche Reinigung auftreten kann; durch seine ganze Masse hindurch zeigt er chemisch und physikalisch dieselben Eigenschaften. Von dieser Seite gehen also dem Krystalle die Charaktere des Individuums ab. Er entbehrt überdieß die Selbständigkeit, welche jedem Individuum die innere harmonische Wechselwirkung seiner Theile gegenüber von andern, umgebenden Körpern gewährt.

Die Organismen haben mit dem Krystalle vorzüglich die Mannigfaltigkeit der Formen gemeinschaftlich. Organismus, Krystall und Planet drücken die innere Eigenthümlichkeit, namentlich die chemische Zusammensetzung in einer eigenthümlichen äußeren Gestalt aus. Aber während die Planeten und die Himmelskörper überhaupt von der Kugelform sich nur sehr wenig entfernen, treiben Krystalle, Pflanzen und Thiere bei der größten Uebereinstimmung der inneren Eigenschaften doch einen Reichthum von Gestalten hervor, welcher auf wenige Grundformen

Digitized by Google

und Grundbedingungen zurückgeführt werden kann und mit den inneren Eigenschaften eben so gut zusammenhängt, als die einförmige Gestalt der Himmelskörper. Krystall und Organismus sind irdische Körper, welche vom unbedingten Zwange des Planetarischen sich theilweise frei gemacht haben und dem inneren Triebe der Gestaltung ohne äußere Hemmnisse folgen. Aber bei näherer Betrachtung treten zwischen beiden sehr bedeutende Unterschiede hervor.

Das, was die Individualität erst vollständig macht, nämlich die Zusammensetzung aus ungleichartigen, harmonisch verbundenen, wechselseitig sich bedingenden Theilen, dieses fehlt dem Krystall; aber es kommt allen Organismen in ausgezeichnetem Maaße zu. Jede Pflanze zeigt in ihrem Innern Gewebe, welche durch chemische und physikalische Eigenschaften von einander verschieden sind. So unterscheidet sich in den Stämmen unserer Bäume das feste Holz von dem weichen Mark und der biegsamen Rinde; so steht in den meisten Pflanzenzellen die feste Hülle dem flüssigen Inhalte gegenüber; so treten stickstofflose und stickstoffhaltige, organische und unorganische Substanzen an allen Punkten der Pflanze in lebendige Wechselwirkung. Dasselbe findet man in allen Thieren; Blut und Knochen, stickstoffloses Fett und stickstoffhaltige Muskelsubstanz mögen hier als auffallende Beispiele der physikalischen und chemischen Gegensätze des Thierkörpers erwähnt werden.

Diese Zusammensetzung aus verschiedenartigen Theilen ist bei den Pflanzen und Thieren so einleuchtend, daß man sie bei diesen früher, als irgendwo sonst, erkannt und hervorgehoben hat. Wo ein Körper aus einzelnen Theilen besteht, welche in ihren Eigenschaften verschieden, aber eben vermöge dieser Verschiedenheit aufs Innigste an einander gekettet sind, wo also ein untrennbares, aus harmonisch verbundenen Gliedern gebildetes Ganzes in der Natur gefunden wird, da sprach man in vielen Fällen sogleich von Organisation. Wenn man allerdings diesen Begriff auf solche Weise auffaßt, so gehört die Erde, so

gehören alle Planeten, vielleicht sogar alle Gestirne unter die Organismen. Uns scheint es aber besser, den Begriff der Organisation nicht in so unbestimmte Gränzen einzuschließen. Ein Ganzes, welches aus einzelnen, ungleichartigen Theilen zusammengesetzt ist, und aus welchem ohne Störung kein Theil herausgenommen werden kann, ist von uns als Individuum bezeichnet worden. Die Organismen gehören unter die Individuen; aber sie unterscheiden sich von andern, z. B. von den planetarischen Individuen, und es ist gerade der Zweck der gegenwärtigen Untersuchung, diese Unterschiede so scharf als möglich hervorzuheben.

Wie in der Erde die drei Bestandtheile, der Körper, die tropfbarflüssige und die gasförmige Hülle, nie in Ruhe sind, wie die Erdrinde fast ununterbrochen erbebt, Meer und Luft aber durch stete Strömungen in Bewegung gesetzt werden, wie endlich das Wasser eine lebhafte Verbindung zwischen Körper und Atmosphäre vermittelt, so befinden sich auch die ungleichartigen Theile der Organismen niemals in Ruhe; eine chemische und physikalische Wechselwirkung erhält sie immer in Thätigkeit. Der Krystall ist in seinem Innern nicht blos gleichartig, sondern auch völlig ruhend; ohne äußeren Anstoß verändert er weder die chemische Mischung, noch die physikalischen Eigenschaften und die gegenseitige Lage seiner Theile. Ganz anders ist es bei den Organismen. Durch die Gewebe der Pflanze bewegen sich Säfte in verschiedenen Richtungen; das Blut des Thieres legt seinen Kreislauf durch alle Organe zurück. Zwischen allen Theilen des Organismus herrscht eine Wechselbeziehung, welche eine ununterbrochene Stoffumwandlung jedes einzelnen Theiles zur Folge hat. Mechanische Bewegung und chemische Veränderung sind also mit den inneren Vorgängen der organischen Körper unzertrennlich verbunden.

Wenn der Krystall demnach innerlich ruhend, der Organismus innerlich bewegt ist, was treibt den Organismus zu diesen Veränderungen seiner einzelnen Theile an? Vor Allem

Digitized by Google

wirkt hier die Ungleichartigkeit der einzelnen Theile; aber zu den inneren Bedingungen der ununterbrochenen Thätigkeit gehört auch ein äußerer Anstoß. Inneres und Aeußeres vermögen erst mit einander die Existenz des Individuums überhaupt und ebenso die Existenz der Organismen zu erklären (I. 461). Auch in dieser Beziehung bleibt der Krystall weit hinter dem organischen Körper zurück; wie er in seinem Innern keine Bewegung oder chemische Veränderung zeigt, so regt er sich auch nicht nach außen, und greift nicht selbstthätig in die Processe der umgebenden Natur ein. Aber der Organismus zeigt nicht blos eine lebendige Wechselwirkung seiner inneren Theile; sondern er tritt auch mit den umgebenden Körpern in wechselseitige Beziehungen. Beide Seiten seiner Existenz hängen aufs Innigste mit einander zusammen; die innern und die äußern Processe regen sich gegenseitig an. In dieser Beziehung gleichen die Organismen wiederum den Planeten, welche durch Licht, Wärme und Schwere mit der ganzen Welt der Gestirne aufs Innigste verknüpft sind.

Das innere Princip des Wechsels, welches die Organismen mit den Individuen überhaupt theilen, äußert sich nicht blos in den verschiedenen, nach innen und außen gerichteten organischen Thätigkeiten, sondern auch in der Veränderung des Zustandes, welche der Organismus als ein Ganzes während der Dauer seiner Existenz erfährt (I. 464). Der Krystall bleibt nach allen seinen Eigenschaften derselbe, wenn nicht äußere, chemische oder mechanische Einflüsse ihn umwandeln. Aber von dem ersten Augenblicke der Entstehung an treibt eine innere Nothwendigkeit sowohl Pflanzen als Thiere, eine bestimmte Reihe von Veränderungen zu durchlaufen. Und wie die Organismen durch den Reichthum ihrer äußeren Gestalt sich vor den Gestirnen auszeichnen, so prägt sich auch der Wechsel ihrer Zustände vorzüglich in Veränderungen der Form aus. Die Einheit des Individuums verbindet alle diese wechselnden Zustände; aber keine Gestalt, kein Verhältniß läßt sich festhalten und durch Beobachtung erschöpfen; denn unter den Händen entschwindet

Digitized by Google

uns der Gegenstand unserer Untersuchung, und dasselbe Individuum ist im nächsten Augenblicke ein anderes geworden, als es im vorhergehenden gewesen war. Einheit und Vielheit sind auch im organischen Körper, in seinen Theilen und Zuständen wunderbar unter einander verkettet.

Diese Auseinandersetzungen mögen zur Genüge beweisen, daß Krystall und Organismus sich wesentlich von einander unterscheiden, daß der Charakter der Individualität jenem fehlt, diesem aber im vollsten Maaße zukommt. Der Organismus vereinigt in sich Einheit und Vielheit, Allgemeines und Einzelnes. Aber der Krystall ist nichts als die vollkommenste Gestalt eines einzelnen Bestandtheiles des Erdkörpers. Wie jeder Theil der festen Erdmasse nach bestimmter Formbildung strebt, wie nicht blos der Erdkörper als Ganzes, sondern auch jeder einzelne Continent desselben eine eigenthümliche Form an sich herausbildet, so kommt auch ursprünglich jedem Mineral seine eigenthümliche Gestalt zu. Aber in dem flüssigen Erdkerne befinden sich die Mineralien ungeformt und erst gestaltungsfähig bei einander. In jenem Theile der Erdrinde, welcher unmittelbar durch Erstarrung flüssiger Massen entstanden ist, sind die festwerdenden Mineralien in so inniger Verbindung und Berührung mit einander geblieben, daß jedes einzelne seine Gestalt nicht ungehindert ausbilden, sondern meistens nur zu einer Andeutung derselben, zum krystallinischen Zustande gelangen konnte. Es bedurfte einer Zerlegung dieser gemengten, krystallinischen Gesteine, einer Ausziehung des einzelnen Minerales, damit seine Krystallform vollkommen hervortreten konnte. Dieses ist, wie wir schon früher bemerkten (I. 412), durch die wäßrige Zersetzung der gemengten Gebirgsarten geschehen. Wo man Krystalle von vollständiger Bildung trifft, da kann man in der Mehrzahl der Fälle sicher sein, daß sie auf wäßrigem Wege entstanden sind.

Der Krystall ist demnach kein Individuum eigener Art, welches dem Planeten mit eigenthümlicher Mischung und Form

Digitized by Google

gegenüber tritt. Er stellt nur einen einzelnen Bestandtheil des großen Erdganzen dar, und seine Form weicht von der Kugelform des Planeten eben darum wesentlich ab, weil er nicht ein Abbild, eine Wiederholung des Planeten ist, sondern zu dem Erdganzen sich als ein Einzelnes, Unselbständiges verhält. Die Individualität des Planeten prägt sich in seiner Kugelform, die untergeordnete Eigenthümlichkeit seiner einzelnen mineralischen Substanzen in der Krystallform deutlich aus.

Der Organismus verhält sich zum Planeten nicht als ein einzelner Theil; er tritt ihm, wie wir gezeigt haben, als ein Individuum eigener Art gegenüber. Daraus läßt sich schon abnehmen, daß die reichere Formbildung bei den organischen Körpern einen andern Grund hat, als bei den Mineralien. Bei diesen herrscht durchaus Vereinzelung und Zersplitterung; es gibt im Reiche der Mineralien keine Grundform, aus welcher alle Krystallformen naturgemäß abgeleitet werden könnten. Aber alle organischen Gestalten ruhen im Grunde auf Einem Typus. Jedes Thier und jede Pflanze gehen in den ersten Augenblicken ihrer Existenz von diesem Typus aus, und einige halten ihn während ihres ganzen Lebens fest; die meisten aber verändern und entwickeln ihn auf die mannigfaltigste Weise. Dieser Grundtypus alles Organischen ist die Zelle. Die Gestalt, der Bau und die Thätigkeit der Organismen prägen sich in ihr mit aller Einfachheit und Schärfe aus. Nachdem wir den Organismus theils von dem Planeten als Ganzem, theils von den Krystallen als den geformten einzelnen Mineralien bestimmt unterschieden haben, versuchen wir jetzt, die Existenzweise der Organismen in kurzen Zügen zu schildern.

---

3) **Die organische Zelle.** Wer den Formenreichthum der organischen Körper betrachtet, wer insbesondere den Unterschied zwischen Thieren und Pflanzen erwägt, dem wird die Behauptung wunderbar erscheinen, alle Organismen seien doch am Ende nichts als Entwicklungsformen der Zelle; alle seien

Digitized by Google

von dieser als ihrer ersten Gestalt ausgegangen. Den ersten wissenschaftlichen Nachweis für diesen wesentlichen, inneren Zusammenhang aller Organismen verdanken wir vorzüglich den Untersuchungen, welche Schwann und Schleiden in der neuesten Zeit veröffentlicht haben. Fromme Wünsche, hoffnungsreiche Hypothesen waren schon vorher von Manchen vorgetragen worden. Aber erst jene beiden Naturforscher haben die Behauptung, welche wir gleich am Anfange aussprachen, auf den sicheren Boden der Beobachtung gegründet; und wenn auch einzelne ihrer Angaben sich nicht bestätigt haben, so wird doch ihr Resultat als ein bleibender Schatz für die Wissenschaft erhalten bleiben. Der wirkliche, nicht blos ideale Punkt der Einheit ist für die Organismen in der Zelle gefunden; es sind nur noch fernere Beobachtungen nöthig, um den Begriff der Zelle scharf begränzen zu können.

Die Zelle ist fast nie für das blose Auge völlig erkennbar; wenn sie auch, wie öfters bei den Pflanzen, als ein sehr kleiner Körper unterschieden werden kann, so ist doch zur genaueren Untersuchung ihrer Eigenschaften immer das Mikroskop nothwendig. Daher kommt es auch, daß richtige Ansichten über den Bau der pflanzlichen und thierischen Zelle erst nach der Vervollkommnung der Mikroskope, also in der neuesten Zeit aufgestellt werden konnten. Daher ist es ferner zu erklären, daß, obwohl man schon länger von pflanzlichem Zellgewebe spricht, doch die wesentlichen Eigenschaften der Zelle dem gewöhnlichen Verständnisse nicht recht geläufig werden konnten. Und doch ist es nothwendig, bei jedem tieferen Eindringen in die organische Schöpfung denselben Ausgangspunkt zu wählen, von welchem die natürliche Entwicklung selbst beginnt; es ist nothwendig, die mikroskopische Zelle auch dem allgemeinen Verständnisse näher zu bringen.

Niedere Pflanzen und niedere Thiere, die einfachsten Algen und die thierischen Infusorien, stellen nicht selten nur eine einzige Zelle dar. Auch der erste Keim der Pflanzen und der

Digitized by Google

Thiere geht über diese einfache Zellenform noch nicht hinaus. In diesen Fällen ist nun vor Allem die Zellenhülle a vom Zelleninhalte b zu unterscheiden. Die fertige Zelle ist keine weiche, zusammengeballte, unbestimmt begränzte Masse; sondern eine Zelle gilt erst als gebildet, wenn eine feste Haut das ganze Gebilde einschließt. Innerhalb der Haut bleibt die übrige Zellenmasse mehr oder weniger weich, bisweilen ganz flüssig; man bemerkt in ihr aber öfters auch feste Bildungen, und unter diesen zeichnet sich vorzüglich der Zellenkern c aus, der anfänglich immer in der Mitte der Zelle zu liegen scheint.

Zellenhülle und Zelleninhalt bilden schon in der ursprünglichen Zelle einen deutlichen Gegensatz. Was wir von den Himmelskörpern nur vermuthungsweise aussprechen konnten (I. 465), läßt sich hier mit voller Sicherheit behaupten: das Gebilde, aus welchem alles Organische seinen Ursprung nimmt, ist schon in seiner ersten Gestalt kein völlig Einfaches, sondern zeigt durch innere Gegensätze seine Individualität genügend an. Der Gegensatz zwischen Zellenhülle und Zelleninhalt ist aber ein doppelter. Einmal unterscheidet sich die festere Membran durch ihren Cohäsionszustand von dem weichen oder flüssigen Inhalte; und dann sind beide chemisch wesentlich verschieden; bei der pflanzlichen Zelle wenigstens ist mit Sicherheit bekannt, daß im Anfange ihres Bestehens ihre Hülle nur aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, ihr Inhalt überdieß aus Stickstoff besteht; bei der thierischen Zelle scheint das Verhältniß in der Regel ein umgekehrtes zu sein. Wie nun am Planeten der feste Körper und die gasförmige Hülle ununterbrochen auf einander wirken, wie vorzüglich aus dieser Wechselwirkung die hauptsächlichen tellurischen Processe hervorgehen, so liegen Hülle und Inhalt der Zelle nicht ruhig neben einander; sie erregen sich wechselseitig zur Thätigkeit, und von den Bestandtheilen des Inhaltes scheint der Kern hier eine besondere Bedeutung zu be-

haupten. In kleinem Umfange und in einfachen Zügen gehen zwischen Zelle und Außenwelt, zwischen Zelleninhalt und Zellenhülle alle jene Processe vor sich, welche den verwickeltsten Organismus auszeichnen.

Die Oberfläche des Planeten wird von der gasförmigen Hülle gebildet; äußere Stoffe dringen ohne Schwierigkeit in diese leicht verschiebbare Atmosphäre ein. Aber wenn der Planet gegen den Andrang äußerer Stoffe durch seinen Bau nicht geschützt ist, so wird dieser Schutz ihm durch seine Lage im Weltraume gewährt. Nirgends berühren sich Himmelskörper unmittelbar; ungehemmt durchlaufen sie ihre Bahnen, und nur sehr kleine Massen, wie die Meteorsteine, stürzen aus dem Weltraume auf die Oberfläche einzelner Himmelskörper herab. So ist jeder Himmelskörper schon durch seine Lage auf sich selbst beschränkt; er scheint vom Anfange seiner Existenz an keine Stoffe mit andern Himmelskörpern auszutauschen; er braucht daher auch keine schützende Hülle nach außen. Die Lage der Organismen ist eine ganz andere. Sie haben keine eigenthümliche Substanz für sich; sondern von Anfang an verdanken sie ihre Grundstoffe dem Planeten, auf welchem sie leben. Sie behalten auch diese Grundstoffe nicht während der ganzen Dauer ihrer Existenz; sondern ununterbrochen scheiden sie verbrauchte Stoffe aus, und nehmen dafür neue aus der umgebenden Natur auf. Ueberdieß steht kein Organismus frei und unberührt in seiner Umgebung; er wird räumlich vorzüglich vom Planeten und seinen Hüllen, aber außerdem oft von andern Organismen begränzt. Unter diesen Verhältnissen bedarf jeder Organismus eine schützende Umhüllung; die einfachste Form hievon stellt die Zellenhülle dar.

Die organische Zelle kommt mit vielen Flüssigkeiten, besonders mit Wasser in Berührung, und sie muß daher so gebaut sein, daß ihre Oberfläche durch jene Flüssigkeiten nicht angegriffen oder aufgelöst wird. In der That widersteht die Hülle der organischen Zellen und vornehmlich der Pflanzenzellen

Digitized by

den gewöhnlichen Auflösungsmitteln; Thiere und Pflanzen können daher von dem allgemeinen, tropfbarflüssigen Medium unseres Planeten, von dem Wasser, ohne Nachtheil berührt werden. Es gehört ferner zum wesentlichen Charakter der ursprünglichen Zellenhülle, daß sie allseitig geschlossen ist; was also ins Innere der Zelle eindringen soll, muß vorher durch die Hülle durchgegangen sein. Es ergibt sich hieraus unmittelbar, daß in die organische Zelle von außen keine festen Substanzen eindringen können. Alle organischen Häute lassen nur tropfbare und elastische Flüssigkeiten durch, und ebenso ist die ursprüngliche Zellenhülle nur für Flüssiges, aber zugleich für alles Flüssige durchdringbar. Sie vermittelt auf diese Weise den Uebertritt äußerer Substanzen ins Innere der Zellen und ebenso den Austritt von Zelleninhalt nach außen; aber sie beschränkt diesen Durchgang von Stoffen ganz auf tropfbare und elastische Flüssigkeiten. Was hier von der Zellenhülle gesagt ist, gilt in derselben Weise auch von zusammengesetzteren Thieren und Pflanzen; ins Innere, in die eigentliche Substanz dieser Organismen können blos flüssige Stoffe eindringen. Bei der Aufnahme flüssiger Stoffe kommt der Zellenhülle indeß keine Wahl zwischen schädlichen oder nützlichen Stoffen zu. Das Thier wählt zwar zwischen den Substanzen, welche es an seine Oberfläche gelangen läßt; aber sobald die Stoffe an die Oberfläche eines organischen Körpers gelangt sind, so hängt ihre Aufnahme nur noch von ihrem physikalischen Verhalten, insbesondere von dem Grade ihrer Verflüssigung ab.

Auch hierin hält der Organismus seine allgemeine Stellung fest; er ist gegenüber von seiner Umgebung zugleich selbständig und abhängig. Die Grundverhältnisse seines Baues geben ihm die Möglichkeit, Stoffe aufzunehmen, aus denen er seine eigene Substanz bildet und erneut; aber er vermag nicht, das Schädliche ganz von sich fern zu halten. Worin dieses Schädliche seinen Grund hat, können wir erst später auseinandersetzen; aber gegenüber einer falschen Auffassung der göttlichen

Digitized by Google

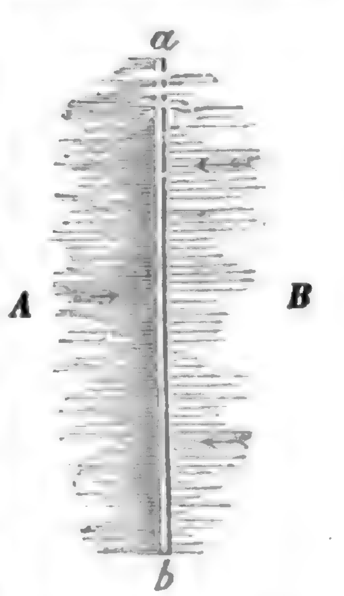
Güte und Weisheit muß schon hier darauf hingewiesen werden, daß in der Natur des Organismus überhaupt oder einzelner organischer Körper nichts liegt, was äußere Schädlichkeiten unbedingt abhalten könnte. Vor Allem ist es der Planet selbst, welcher durch das Uebergewicht seiner eigenen Existenz die Organismen mannigfaltig beeinträchtigt.

Von den Flüssigkeiten, welche die Zelle in ihr Inneres aufnimmt, verarbeitet sie einen Theil so, daß daraus ihre eigene Masse erneut wird. Während sie aber neue Substanz sich aneignet, scheidet sie eigene, verbrauchte Stoffe aus. Es ist das Eigenthümliche des Organismus, daß der Stoff, welchen er von außen überkommen hat, nur eine Zeit lang zur Vermittlung der organischen Processe dienen kann, daß die dauernde Thätigkeit wechselnden Stoff zu ihrer Unterlage bedarf. So lang daher ein Organismus lebt, findet eine ununterbrochene Aufnahme und Ausscheidung von Stoffen an seiner Oberfläche und in seinem Innern statt. An diesem organischen Stoffwechsel nimmt natürlich der Zelleninhalt überwiegenden Antheil. In ihm werden die äußeren Stoffe erst völlig angeeignet, und in ihm beginnt ebenso die Umwandlung der organischen Substanz in Auswurfstoffe. Aber bei der oberflächlichen Aufnahme und Ausscheidung greifen die Wirkungen von Zelleninhalt und Zellenhülle aufs Genaueste in einander. Diese Vorgänge sind erst in neuerer Zeit durch die Entdeckung der Endosmose näher aufgeklärt worden; und da diese bei der organischen Ernährung und Absonderung eine sehr bedeutende Rolle spielt, so erscheint es vor Allem nöthig, ihre Gesetze in Kürze anzugeben.

Wenn eine organische Haut, z. B. eine thierische Blase, mit einer tropfbaren Flüssigkeit in Berührung ist, so wird sie mit größerer oder geringerer Schnelligkeit und Intensität von dieser Flüssigkeit getränkt. Der Grad der Tränkung läßt sich im Allgemeinen nicht zum voraus bestimmen; doch hängt er meistens von der Dichtigkeit der Flüssigkeit ab. Je dichter

Digitized by Google

eine Flüssigkeit ist, desto langsamer tränkt sie die Blase; von reinem Wasser wird diese viel schneller durchdrungen, als von einer gesättigten Kochsalzlösung. Aber anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn die Blase nicht blos an Einer Oberfläche mit Einer Flüssigkeit in Berührung kommt, sondern wenn zwei verschiedenartige Flüssigkeiten ihre beiden Oberflächen berühren. So gränze z. B. die Blase ab auf der einen Seite etwa an die Kochsalzlösung A, auf der andern Seite an reines Wasser B. Hier ist klar, daß sowohl die Flüssigkeit A als die Flüssigkeit B sich bestreben werden, in die Blase ab einzudringen; aber es hängt jetzt nicht mehr blos vom Verhältnisse beider Flüssigkeiten zu der Blase ab, wie viel von jeder die Blase tränken wird. Es sei z. B. A Oel und B Wasser, so werden diese beiden Flüssigkeiten wohl für sich die Blase tränken; aber so wenig Oel und Wasser sich überhaupt mischen, so wenig können sie in der Substanz der Blase beisammen sein; sondern die eine Flüssigkeit muß die andere verdrängen. Wenn also die organische Haut zwei Flüssigkeiten von einander trennt, so kommt es nicht mehr blos auf die Tränkbarkeit der Blase, sondern auch auf die Mischbarkeit der Flüssigkeiten an.



Sind nun A und B, wie wir oben annahmen, sehr leicht mischbar, so tränken sie beide die Blase ab. Die Tränkung findet indessen im umgekehrten Verhältnisse der Dichtigkeit statt; von der dichteren Kochsalzlösung wird während derselben Zeit weniger in die Blase aufgenommen werden, als von dem dünneren reinen Wasser. Ist aber einmal die beiderseitige Tränkung erfolgt, so sind die Flüssigkeiten A und B in unmittelbare Berührung mit einander getreten, und sie können sich jetzt auch weiterhin mit einander mischen. Das Verhältniß beider Flüssigkeiten ist jetzt ein ähnliches, als wenn die Scheidewand ab ganz herausgenommen wäre; von A

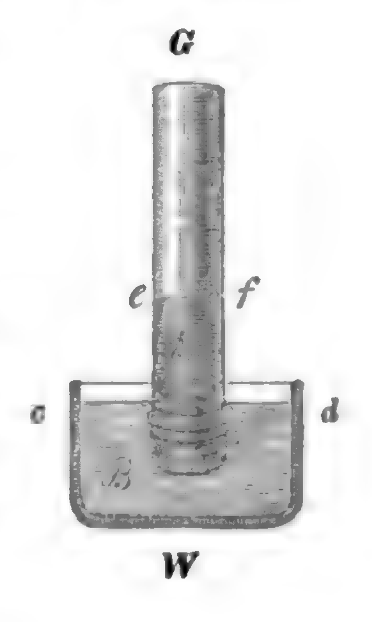
treten nach B und von B nach A Flüssigkeitstheilchen hinüber. Der Unterschied von der völlig ungehinderten Communikation liegt aber in der verschiedenen Schnelligkeit, mit der die Mischung überhaupt und mit der insbesondere der Uebertritt der einen, dichteren Flüssigkeit erfolgt. Auf der einen Seite wird natürlich die Mischung von A und B durch die zwischenliegende Scheidewand a b sehr verlangsamt. Auf der andern Seite geht die Flüssigkeit A in demselben Verhältnisse langsamer nach B hinüber, als sie vermöge ihrer größeren Dichtigkeit die Scheidewand langsamer tränkt. Daraus folgt, daß in einer bestimmten Zeit mehr Flüssigkeit von B nach A hinübergeht, als von A nach B. Wenn also die zwei mischbaren Flüssigkeiten A und B, von welchen jene die dichtere ist, durch die durchdringbare Haut a b von einander geschieden sind, so geht ein Flüssigkeitsstrom sowohl von A nach B, als von B nach A; aber der stärkere Strom geht von B nach A, von der dünneren zur dichteren Flüssigkeit hinüber. Dieser stärkere Strom heißt der endosmotische.

Dieselben Verhältnisse, welche wir hier vorausgesetzt haben, finden auch bei der organischen Zelle statt, wenn sie äußere Flüssigkeiten aufsaugt. Der Zelleninhalt ist fast ohne Ausnahme dichter, als die Flüssigkeit, welche die Oberfläche der Zelle berührt. Daher erfolgt zwar ein Austausch von Stoffen zwischen der Zelle und ihrer nächsten Umgebung; aber die Stoffaufnahme überwiegt hier in demselben Verhältnisse die Stoffausscheidung, als der Zelleninhalt das äußere Fluidum bedeutend an Dichtigkeit übertrifft. Der endosmotische Proceß geht aber nicht blos an der Oberfläche der einfachen, ursprünglichen Zelle vor sich; sondern wo Zellen als Bestandtheile der zusammengesetzteren Pflanzen und Thiere auftreten, da wirkt die Endosmose zu ihrer Stoffaufnahme und Stoffausscheidung wesentlich mit. In dieser Weise nimmt z. B. die Wurzel der höchsten Pflanzen die Nahrungsstoffe durch ihre oberflächlichen Zellen auf, und es kommt hiebei die Ausscheidung gegenüber von der Aufnahme

Digitized by Google

von Stoff wegen der Dichtigkeit des Zellensaftes kaum in Betracht.

Die Anziehung, welche der Inhalt und die Hülle der organischen Zelle auf äußere Flüssigkeiten ausüben, ist so bedeutend, daß sie andere Einflüsse, z. B. den Einfluß der Schwere oder des äußeren Druckes überwindet. Wir haben in dieser Beziehung schon früher (I. 52) die organische Endosmose mit der Wirkung der Capillarröhrchen zusammengestellt. Wie die Flüssigkeiten in diesen durch Oberflächenanziehung bis zu bedeutenden Höhen gegen das Gesetz der Schwere emporsteigen, so kann auch die Schwere nicht verhindern, daß Flüssigkeiten aus der einen Pflanzenzelle in die darüberliegende durch Endosmose übergehen, daß auf solche Weise der Saft durch den ganzen Stamm eines Baumes aufsteigt. Dieses wird leicht bewiesen, wenn man eine dichte Flüssigkeit A, z. B. eine gesättigte Kochsalzlösung in die oben offene, unten durch eine Blase verschlossene Glasröhre G bringt, und dieses untere Ende nun in ein Gefäß mit Wasser B taucht. Nach dem Gesetze der Endosmose tauschen sich A und B aus; aber wegen der größeren Dichtigkeit von A geht der überwiegende Strom von B nach A, also von unten nach oben durch die Blase hindurch. Hiebei findet also das Gesetz der Schwere eine wesentliche Abänderung.



Aber noch ein anderes Gesetz wird durch die Endosmose beeinträchtigt. Wenn zwei Röhren, die oben offen und unten mit einander verbunden sind, mit einer tropfbaren Flüssigkeit gefüllt werden, so nimmt diese Flüssigkeit in beiden Röhren eine gleiche Höhe an (I. 51). Die Endosmose ändert diese Regel. Die Flüssigkeit in der Röhre G steht hoch über der Linie c d, welche der Wasserspiegel in dem äußern Gefäße W anzeigt; jene Flüssigkeit fährt sogar, so lange sie in Wasser eingetaucht ist,

Digitized by Google

immer noch fort zu steigen. Und doch communicirt das innere und das äußere Gefäß durch die Blase hindurch, welche das untere Ende der Röhre verschließt. Sobald allerdings die Blase weggenommen wird, nehmen die Flüssigkeiten A und B eine gleiche Höhe an; aber die Blase macht, daß hier nicht die einfachen Gesetze des Gleichgewichts tropfbarer Flüssigkeiten, sondern die Gesetze der Endosmose Geltung erlangen. Auch in diesem Falle würden Capillarröhrchen eine ganz ähnliche Wirkung ausüben.

Die Gesetze der Endosmose finden in dem organischen Reiche eine ausgedehnte Anwendung. Aber wie nirgends in der Natur eine einzige Ursache für sich allein thätig ist, so erleidet auch die Endosmose wieder durch andere Einflüsse vielfache Abänderungen. Die Durchschwitzung einer Flüssigkeit durch eine Blase oder durch irgend eine organische Haut wird insbesondere vermehrt durch äußeren Druck. Läßt man z. B. eine Quecksilbersäule von bestimmter Höhe auf die öfter bemerkte Kochsalzlösung drücken, so gelingt es, von dieser in einer gegebenen Zeit eben so viel durch die Blase zu treiben, als von reinem Wasser. Der äußere Druck ersetzt hiebei, was die Kochsalzlösung durch ihre größere Dichtigkeit verloren hatte; Wasser und Kochsalzlösung tauschen sich jetzt unter Vermittlung der Blase gleichförmig aus. Ein solcher Druck verändert gewiß in vielen organischen Vorgängen, vorzüglich im thierischen Körper, die Wirkung der Endosmose. Er ist bis jetzt unter allen, die Endosmose modificirenden Einflüssen am besten untersucht worden. Aber es fehlt noch die Aufklärung zahlreicher Punkte, ehe die Gesetze der Endosmose auf den organischen Stoffwechsel unter allen Umständen und an allen Orten angewendet werden können. Die organische Zelle ist trotz ihrer großen Einfachheit doch von so mannigfachen Einflüssen angeregt und bestimmt, daß jeder dieser Einflüsse sich nur im Zusammenhange mit allen übrigen gehörig würdigen läßt; und gegenüber der einfachen Zelle bieten die zusammengesetzten Thiere und Pflanzen noch viel verwickeltere Einrichtungen dar.

Digitized by Google

Die Endosmose muß in jedem Falle als ein Vorgang betrachtet werden, welcher bei dem Durchtritt tropfbarer Flüssigkeiten durch die organische Zellenhülle und überhaupt durch organische Häute vorzüglich in Betracht kommt. Die Fähigkeit der Flüssigkeiten, organische Häute zu durchdringen, hängt hauptsächlich, aber doch nicht immer, von dem geringeren Grade ihrer Dichtigkeit ab. Vielmehr verhält sich eigentlich jede Haut zu allen Flüssigkeiten auf eine eigenthümliche Weise, und es läßt sich nur annähernd, aber nicht mit Sicherheit bestimmen, wie viel verschiedene Häute von derselben Flüssigkeit in einer gewissen Zeit durchlassen werden. Es ist daher, auch abgesehen von äußeren Einflüssen, schon in dem Verhalten jeder einzelnen Zelle ein weiter Spielraum für die Abänderung des allgemeinen Gesetzes der Endosmose gegeben; jeder einzelne Fall verlangt zu seinem Verständniß die Erwägung besonderer, sowohl innerer als äußerer Bedingungen.

So lange sich die verschiedenartigen, durch Endosmose aufgenommenen Stoffe innerhalb der organischen Zelle befinden, sind sie den Gesetzen des organischen Stoffwechsels unterworfen. Wir haben schon bemerkt, wie dieser hauptsächlich zwei Seiten darbietet, nämlich die Aneignung neuer und die Ausscheidung verbrauchter Substanzen. Aber es scheint, daß dieser Stoffwechsel nur dann in gehöriger Weise vor sich gehen kann, wenn der flüssige Zelleninhalt nicht stillsteht, sondern mechanisch bewegt wird. Es zweifelt Niemand daran, daß in jedem zusammengesetzteren, thierischen Organismus die Säfte, welche den Stoffwechsel vermitteln, durch den ganzen Körper cirkuliren. Auch in allen lebenskräftigen, jugendlichen Zellen der Pflanzen findet ein solcher Umlauf der Säfte statt. Aber schon bei den einfachsten, einzelligen Thieren und Pflanzen wird eine Säftebewegung meistens bemerkt. Es muß hier noch unerörtert bleiben, auf welche Weise der Zellensaft bewegt wird. Die Ursache der Bewegung liegt vielleicht immer außerhalb des Saftes, in den festen Theilen der Zelle, und ist von der Ursache

der Endosmose wohl zu unterscheiden. Diese Saftbewegung beruht ohne Zweifel auf derselben Kraft, welche wir früher als die eigenthümliche Bewegungskraft der organischen Körper überhaupt unterschieden haben. Der innere Stoffwechsel und die innere Saftbewegung weisen im Innern der Zelle auf das neue Princip hin, welches die chemischen Affinitäten und die Bewegungen der Organismen bestimmt.

Aber die Bewegung der Organismen beschränkt sich nicht blos auf die innere Saftbewegung. Von den Thieren ist es ja allbekannt, daß sie auch äußere Bewegungen theils mit ihren Gliedern, theils mit ihrer ganzen Körpermasse ausführen, und diese meist als willkührlich bezeichneten Bewegungen sind den zusammengesetztesten und den einfachsten Thieren in gleicher Weise eigen. Indeß fehlt es auch bei den Pflanzen nicht an zahlreichen Beispielen von äußeren Bewegungen, und wir sind nur, wie H. Mohl neuestens bemerkt hat, durch die tägliche Anschauung dieser Vorgänge abgestumpft. Die Richtung des Stengels nach oben und der Wurzel nach unten, die Wendung der oberen Blattflächen und der Blüthen gegen das Sonnenlicht, die mannigfaltigeren Bewegungen der Mimosenblätter, alle diese Vorgänge sind in ihren Bedingungen noch lange nicht gehörig erforscht; aber sie weisen mit Entschiedenheit darauf hin, daß der Pflanze unter gewissen Umständen und in einzelnen Theilen eine Fähigkeit der äußeren Bewegung zukomme, welche mit der thierischen Ortsbewegung denselben Grund gemein hat. Was indeß bei den höheren, zusammengesetzteren Pflanzen fast nur ausnahmsweise vorkommt, das ist bei jenen Pflanzen viel allgemeiner, die sich durch die Einfachheit ihrer Bildung von der einfachen Zelle gar nicht oder kaum entfernen. Die Oscillatorien und Diatomeen, mikroskopische Wasserpflanzen, führen räthselhafte Bewegungen aus, welche theils in Vorrücken und Zurückweichen, theils in pendelartigen Schwingungen bestehen, und vielfach Gelegenheit gegeben haben, diese Pflanzen für Thiere zu halten.

Digitized by Google

Was steht hienach im Wege, die äußere Bewegung für eine Eigenschaft der organischen Zelle überhaupt zu halten? Diese Bewegung wird allerdings in den meisten Fällen durch eigene Apparate, vorzüglich durch die Muskel der Thiere ausgeführt. Aber den niedersten Thieren und vielen Pflanzen fehlen solche Apparate vollständig, und es kann hier nur die Substanz der einfachen Zelle selbst, vielleicht die Zellenhülle die Bewegungen ausführen.

Die organische Zelle nimmt demnach äußere Stoffe auf, verarbeitet sie in ihrem Innern und scheidet die verbrauchten Stoffe wieder an ihre Oberfläche aus; sie besitzt überdieß die Fähigkeit, sowohl innere als äußere Bewegungen auszuführen. In allen diesen Thätigkeiten beweist die Zelle ihre eigenthümliche, vom Planetarischen abgewendete Natur. Aber die organische Zelle ist in Bezug auf ihre Bewegungen eben so wenig von der umgebenden Schöpfung unabhängig, als in Bezug auf ihren Stoffwechsel. Die meisten Pflanzenbewegungen treten nicht ein, wenn nicht äußere Einflüsse auf die Pflanzentheile einwirken. Auch die Thiere werden zu den Veränderungen ihrer Lage sehr häufig, wenn auch nicht immer, durch äußere Eindrücke angeregt. Unter diese äußeren Bewegungsreize gehört vor Allem Licht und Wärme, dann äußerer Druck oder Stoß. Wir können diese Reize im Allgemeinen als *physikalische* bezeichnen; sie rühren von Licht- und Wärmeschwingungen und von den gewöhnlichen Bewegungen der äußeren Körper her. Wie die Elemente für den organischen Stoffwechsel aus der umgebenden Natur genommen werden, so dienen also auch äußere Reize als nähere oder entferntere Veranlassungen zu der Entstehung organischer Bewegungen. *Daß* aber aus den aufgenommenen Elementen die organischen Bestandtheile gebildet werden, *daß* auf die äußeren Reize wirklich Bewegungen erfolgen, dieses hat keinen äußern, sondern einen innern, organischen Grund.

Wie wir früher die verschiedenen Theile unseres Planeten in ihrer Wechselwirkung beschrieben haben, so ist jetzt die or-

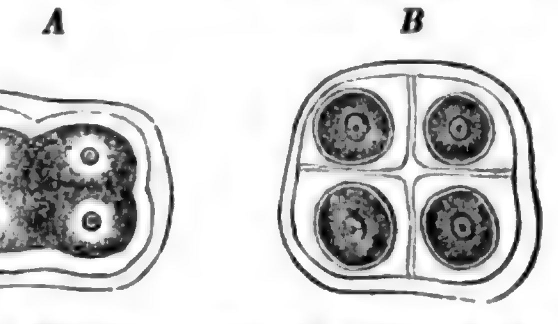
ganische Zelle nach Bau und Thätigkeit ihrer Theile geschildert worden. Aber so wenig die Erde während irgend einer Zeit ihrer Existenz völlig dieselbe geblieben ist, ebenso unterliegt die organische Zelle den mannigfachsten Veränderungen. Wir haben hier zunächst von den Veränderungen der äußeren Form zu sprechen, welche die Zelle, welche der Organismus überhaupt erfährt. Der Organismus geht, wie wir gezeigt haben, immer von der Zelle aus, und diese Zelle theilt mit dem Planeten, mit den Gestirnen überhaupt, die Kugelform. Offenbar sind auch bei der Bildung der ursprünglichen organischen Zelle jene Gesetze der einfachsten Massenanziehung thätig, welche eine Flüssigkeit sich als Tropfen sammeln und hernach diesen Tropfen erstarren lassen (I. 252 ff.). Aber in den Organismen wohnt ein Trieb, sich von der Kugelform zu entfernen. Während der Himmelskörper troß seiner Abplattungen und Gebirge doch wesentlich kugelförmig bleibt, treibt die ursprüngliche organische Kugel in verschiedenen Richtungen Strahlen und Glieder hervor. So verästelt sich das untere Ende vieler einzelligen Wasserpflanzen zu einem Büschel von Wurzeln; so stülpen die Rhizopoden, mikroskopische Thiere von der einfachsten Bildung, faden- oder fingerförmige Arme aus und ein. Noch mehr aber geht die Kugelform bei den höheren Pflanzen und Thieren verloren; hier wird es schwer, die Gestalt des fertigen Körpers auf das ursprüngliche, kugelförmige Ei zurückzuführen. Aber von dem Typus der ursprünglichen Zellen bleibt doch allen organischen Körpern Ein Charakter, nämlich die Begränzung durch lauter gekrümmte Flächen. Dadurch unterscheidet sich der Organismus sehr leicht von dem Krystalle, welcher ebene Flächen und gerade Kanten zu seiner Begränzung hat.

Die Abweichung von der ursprünglichen Kugelform könnte schon genügend erscheinen, um den Organismus auch in Bezug auf seine Entwicklung vom Planeten zu unterscheiden. Aber es kommt hiezu noch ein Punkt von größter Wichtigkeit. Unsere Erde enthält, so viel wir wissen, während ihres ganzen Be-

Digitized by Google

stehens die nämlichen Stoffe; was sie von außen aufnimmt oder nach außen abgibt, kommt gegenüber von ihrer ganzen Masse kaum in Betracht. Ihr Umfang nimmt daher weder ab noch zu. Der Organismus hingegen nimmt Stoffe auf und scheidet Stoffe aus; und bis zu einem gewissen Punkte scheint die Aufnahme über die Ausscheidung so zu überwiegen, daß der Umfang des Organismus zunimmt. Der Organismus wächst bis zu einem gewissen Punkte. Jedermann weiß, daß dieses Wachsthum von innen heraus geschieht, daß die Pflanze oder das Thier nicht, wie die Krystalle, durch äußere Anlagerung neuer Theile, sondern durch die innerliche Aneignung aufgenommener Nahrungsstoffe an Umfang gewinnen. Dieses Wachsthum ist aber wiederum nicht blos eine äußerliche Vermehrung des Volumens; sondern es gehen demselben auch Veränderungen im Innern des Organismus parallel. Wir können diese am besten als eine innerliche Vermehrung der Zellen bezeichnen. Statt der ursprünglichen Einen Zelle enthält der ausgewachsene Organismus in der Regel eine sehr große Zahl innig verbundener, mannigfach gestalteter Zellen.

Die Vermehrung der Zellen geschieht wahrscheinlich auf zweierlei Weise; aber sie geschieht immer so, daß ältere Zellen die Bildungsstätte für die neuen darstellen. Wie das Wachsthum des ganzen Organismus nicht durch Anlagerung äußerer Theile erfolgt, so bilden sich im organischen Körper neue Zellen immer aus den alten hervor. Der einfachste Fall ist der, wo die Zellenhülle sich an mehreren Stellen einstülpt, und so die Höhle der Zelle in Fächer von größerer oder geringerer Anzahl abtheilt. So zeigt die Zellenhülle bei **A** vier einspringende Winkel, und auf entsprechende Weise fängt der Zelleninhalt an, in vier Klumpen zu zerfallen. Die Theilung der Zelle ist in **B** vollendet. Aus Einer Zel-



lenhöhle sind vier geworden, und jede der vier kleineren, neugebildeten Zellen hat ihre eigene Hülle erhalten. Dieser Vermehrung durch Theilung steht die freie Zellenbildung gegenüber. In der großen Zelle c haben sich bei a zwei neue Zellen gebildet, indem ein Theil des körnigen Zelleninhaltes sich mit einer Hülle umgab. In beiden Fällen aber, bei der Theilung und bei der freien Bildung spielt noch der Zellenkern eine sehr bedeutende Rolle; wir bezeichneten ihn schon früher als den wichtigsten unter den festen Körpern des Zelleninhaltes. In der oben bemerkten Zelle, welche durch Theilung in vier zerfällt, bildet sich in jeder Abtheilung als Mittelpunkt des Zelleninhaltes ein neuer Zellenkern aus. Bei der freien Bildung aber geht der Entstehung der Zellenhülle immer die des Kernes (b) voran; dieser stellt das Centrum dar, um welches die Substanz der jungen Zelle sich sammelt und durch eine Hülle abgränzt. Wie der Zellenkern bei diesen Processen wirkt, ist nicht bekannt; aber bei mehreren wichtigen Vorgängen in der organischen Zelle scheint der Anstoß und die Richtung vom Zellenkerne gegeben zu werden.

Die ursprüngliche Zellenform ist in vielen Theilen der Pflanze und fast in allen Theilen des Thieres nur schwer wieder zu erkennen. Aber es bleibt doch auch in den höheren Pflanzen und Thieren das Gesetz bestehen, daß beim Wachsthum des Organismus sich zwar die Zahl der Zellen vermehrt, daß aber diese Vermehrung immer durch die älteren, schon fertigen Zellen vermittelt wird. Wir haben oben gesagt, das organische Wachsthum schreite blos bis zu einem gewissen Punkte fort. Wie bei aller Entwicklung der Individuen ein inneres Gesetz herrscht, so ist auch dieser Endpunkt des organischen Wachsthumes nicht durch äußere Einflüsse, sondern durch innere Ursachen bedingt. Jedes Thier, jede Pflanze hören nach einer bestimmten, ihnen eigenthümlichen Zeit auf, ihren Umfang zu vergrößern. Es wird von diesem Zeitpunkte an immer noch

Digitized by Google

Substanz ebenso aufgenommen als ausgeschieden; aber das Wachsthum geht allmählig in eine Abnahme über. Die Uebergangszeit zwischen diesen beiden Richtungen der Entwicklung ist die eigentliche Höhe des organischen Lebens; in dieser Zeit ist im Ganzen weder Zu- noch Abnahme, sondern Gleichgewicht der Processe vorhanden. Während der Organismus sich auf dieser Höhe befindet, nimmt er noch reichliche Substanz in sein Inneres auf; aber er verwandelt sie nur zum Theil in seine eigene Masse; sondern statt die Zahl seiner eigenen Zellen noch immer zu vermehren, bildet er Zellen, welche sich von ihm losreißen und eine eigene Existenz beginnen. Der Organismus gibt neuen organischen Individuen den Ursprung.

Daß die organische Zelle wächst, unterscheidet sie schon sehr deutlich vom Planeten; aber es hängt damit aufs Innigste der wichtige Charakter zusammen, daß die organische Zelle sich fortpflanzt. Wenn die Nebelflecke (I. 249) mit Recht als entstehende Sternsysteme angesehen werden, wenn es ferner erlaubt ist, von diesen Nebelflecken einen Schluß auf die Bildung der Gestirne überhaupt zu machen, so scheint es, daß nicht ein Gestirn dem andern seinen Ursprung verdankt, sondern daß jedes von Neuem aus formlosem Stoffe durch den schöpferischen Willen Gottes gebildet wird. Im organischen Reiche ist es ganz anders. Man hat zwar bis auf die neueste Zeit von spontaner Entstehung der Organismen gesprochen; man hat angenommen, daß aus faulenden organischen Substanzen sich einfach und geradezu niedere Organismen entwickeln können. Aber die mächtigen Fortschritte der Wissenschaft machen es immer wahrscheinlicher, daß eben so wenig Schimmel aus faulendem Brod oder Infusorien aus zersetzten organischen Flüssigkeiten oder Eingeweidewürmer aus kranken thierischen Säften geradezu hervorgehen können, als einst, wie die Alten meinten, aus dem Schlamme des Nils geradezu Schlangen und Kröten entstehen konnten. Wie der Organismus neuen Organismen den Ursprung gibt, so setzt in der jetzigen Ordnung der Dinge jeder Or-

Digitized by Google

ganismus einen Mutterorganismus voraus. Durch diese Annahme, welche den neuesten Thatsachen der Wissenschaft vollständig entspricht, wird die Entstehung der einzelnen Organismen einem bestimmten Gesetze unterworfen. Nicht blos das organische Reich im Allgemeinen verdankt seinen Ursprung nicht dem zufälligen Zusammenstoß äußerer Umstände; sondern auch jeder einzelne Organismus ist nicht im Stande, aus einem sogenannten Urschleime durch atmosphärische und tellurische Einflüsse hervorzugehen. Wir werden die Consequenzen dieser Annahme im folgenden Kapitel zu ziehen versuchen.

Für die Fortpflanzung der Organismen gelten auch die Gesetze der Zellenvermehrung. Wie aus einer Zelle mehrere werden, theils durch Theilung, theils durch innere Neubildung, so vermehrt sich auch die Zahl der Individuen, indem sich der Mutterorganismus entweder in zwei und mehrere Individuen theilt, oder indem im Mutterorganismus Keime entstehen, welche bei ihrem Austritte ein selbständiges Leben beginnen. So geht der Mutterpolyp durch Selbsttheilung in mehrere Individuen auseinander; so streut die Kapsel der Moose zahlreiche Keime neuer Pflänzchen in ihren Sporen aus. Diese Vermehrung der Organismen durch Theilung und durch Bildung von Keimen ist nur den niedersten Thier- und Pflanzenformen eigen. Bei diesen reicht Ein Individuum und Eine Art von Zellen, von organischen Vorrichtungen hin, um ein neues Individuum hervorzubringen. Aber hiezu bedarf es bei den höheren Pflanzen und Thieren zweier Individuen oder doch zweier verschiedenen Apparate eines und desselben Individuums. Die zwei ersten Arten der Fortpflanzung waren geschlechtlos; die dritte beruht auf der Ausbildung des Gegensatzes der Geschlechter.

Wenn eine Zelle oder ein aus Zellen zusammengesetztes Individuum sich geradezu in mehrere neue Individuen theilt, so wird offenbar bei dieser Vermehrung möglichst wenig Neues erzeugt. Die Keime der niederen Thiere und Pflanzen sind dagegen schon ein neues Erzeugniß des Mutterorganismus. Aber

Digitized by Google

erst der Gegensatz der Geschlechter bringt ein wesentlich neues Produkt hervor. In der Pflanze z. B. stehen sich zwei eigenthümliche Bildungen, Staubgefäß und Stempel gegenüber, jenes durch den Blüthenstaub, dieser durch die kleine Samenknospe ausgezeichnet. Aber jede von beiden Bildungen reicht für sich nicht hin, um den Keim des neuen Individuums hervorzubringen. Dieser Keim ist das gemeinsame Produkt von Staubgefäß und Stempel. Er gehört weder dem einen, noch dem andern Organe ausschließlich oder überwiegend an; er verhält sich zu jedem derselben als etwas Neues, relativ Selbständiges. Wenn durch die Vermehrung der Individuen also nicht blos die alten Individuen fortgesetzt, sondern neue hervorgebracht werden sollen, so entspricht diesem Zwecke offenbar das Zusammenwirken zweier Geschlechter am besten. Daß aber jedes neue Individuum wirklich als ein neues ins Leben tritt, daß jedes ein Zeugniß von der schöpferischen Kraft Gottes ablegt, dieses wird im nächsten Kapitel gleichfalls gezeigt werden müssen.

Hier bleiben wir zunächst bei dem Individuum stehen, welches ein neues Individuum hervorgebracht oder zur Entstehung desselben mitgewirkt hat. Es sinkt nach einiger Zeit von der Höhe des Lebens herab; es erleidet mehr und mehr eine Abnahme an Kraft und Masse. Wie nun das Wachsthum aus inneren Ursachen und von innen heraus geschah, so ist auch die Abnahme keine äußerliche. Der Krystall wird kleiner, indem seine Oberfläche mechanisch zertrümmert oder in Flüssigkeiten aufgelöst oder chemisch zersetzt wird. Aber der Organismus nimmt ab, weil die innerliche Erneuerung seiner Substanz abnimmt. Wenn der Baum Blätter und Zweige abwirft, wenn die Schlange oder die Puppe ihre äußerste Körperdecke abstößt, so geschieht dieß aus inneren Bedingungen, welche einen Theil des Organismus allmählig zum weiteren Leben untauglich gemacht haben. Wie aber das Wachsthum zuletzt sein Ende erreicht, so kommt auch der ganze organische Stoffwechsel, die ganze Aufnahme und Ausscheidung von Substanzen zuletzt an einem Punkte an,

wo sie von selbst aufhört. Es ist im einzelnen Fall kaum anzugeben, worin dieses Aufhören seinen Grund hat. Aber im Allgemeinen muß man behaupten, daß ein inneres Gesetz auch dieses Ende der ganzen Existenz eines organischen Individuums bestimmt; man muß annehmen, daß der Tod der Organismen nicht aus zufälligen, äußeren Einflüssen, sondern aus einer inneren Nothwendigkeit folgt.

Während des ganzen Zeitraumes, welcher zwischen der Entstehung und dem Tode des organischen Individuums in der Mitte liegt, durchläuft dieses eine ununterbrochene Reihe von Veränderungen in seiner äußeren Gestalt, seinem inneren Bau und seinen Thätigkeiten. Diese Veränderungen sind zwar viel bedeutender, als wir sie bei unserem Planeten vermuthen müssen; aber sie werden doch nicht weniger durch einen sicheren Faden, durch die individuelle Einheit unter einander verbunden. In manchen Fällen sind die Veränderungen der äußeren Gestalt so bedeutend, daß man auf den ersten Blick zweifeln könnte, ob es wirklich ein und dasselbe Individuum sei, welches in allen diesen verschiedenen Formen auftrete. Wer z. B. zum ersten Male eine Raupe und einen Schmetterling betrachtet, wird nicht von selbst darauf geführt werden, beide Formen nur für Entwicklungsstufen eines und desselben Organismus zu halten. Aber bei näherer Untersuchung zeigt es sich doch, daß beim Organismus so gut als beim Planeten die wesentlichen Verhältnisse und Eigenthümlichkeiten des Individuums während seiner ganzen Entwicklung unverändert bleiben. Dieses wird aus der specielleren Schilderung der pflanzlichen und thierischen Entwicklung hervorgehen. Es wird sich dort zeigen, daß auch in den vielfältigen Gestaltveränderungen, welche die organischen Körper so sehr vor dem Planeten auszeichnen, gewisse Grundzüge der individuellen Gestalt niemals verloren gehen. Hier muß aber noch hinzugefügt werden, daß diejenige Seite der Entwicklung, welche sich auf die Gestaltveränderungen bezieht, meist als die organische Metamorphose geschildert wird. Man spricht zwar

Digitized by Google

auch von Stoffmetamorphose; aber besser ist es, dieses Wort gerade für die eine Seite des Entwicklungsprocesses aufzusparen, welche ein besonderes Kennzeichen der organischen Körper ausmacht.

Während der ganzen Entwicklung des Organismus tritt Stoff ein und aus. Die individuelle Einheit fällt hier nicht, wie bei dem Planeten, mit dem Stoffe zusammen, der der Existenz zu Grunde liegt. Vielmehr unterwirft der Organismus fortwährend fremden Stoff seiner eigenen Einheit. Das Dauernde und Bestimmende ist ebendamit im Organismus die Gestalt, welche durch die ganze Masse des Körpers hindurch die aufgenommenen Stoffe ordnet und bildet, und welche nach eigenen Gesetzen ihre Entwicklungsstufen zurücklegt. Warum hört nun diese Anbildung neuer Stoffe plötzlich auf? warum schließt sich die Reihe der Metamorphosen mit dem Tode des Individuums ab? Zum Tode des Organismus wirken allerdings öfters äußere Schädlichkeiten zusammen; aber auch ohne solche Ursachen geht der Organismus zu Grunde, während von außen noch alle Bedingungen seiner Existenz vorhanden sind. Die Ursache des Todes muß also wesentlich im Organismus selbst liegen. Hier läßt sich nun wohl im Allgemeinen sagen, der einzelne Organismus könne, so wenig als irgend ein anderes Geschöpf, ununterbrochen fort existiren; er müsse eben so gut ein Ende als einen Anfang haben. Aber damit ist die nächste Ursache des Unterganges noch nicht aufgeklärt.

Wenn man annimmt (I. 210), daß alle Gestirne des Himmels sich langsamer oder schneller den Mittelpunkten ihrer Bahn nähern, daß sie daher am Ende in diese Mittelpunkte zurückkehren und ebendamit ihre individuelle Existenz beschließen müssen, so liegt der Grund hievon weder in dem Centralkörper eines Sternsystemes, noch in den anderen Körpern, welche sich um jenen bewegen; denn an sich scheint in der Bewegung der Himmelskörper die allgemeine Schwere und die Centrifugalkraft im Gleichgewichte zu sein; sondern der Grund liegt in dem

Digitized by Google

überaus dünnen aber doch widerstandfähigen Medium, welches den Himmelsraum ausfüllt und eine zunehmende Annäherung der Gestirne zu ihren Centralkörpern bewirkt. Dieses Medium macht also, daß die individuelle Existenz der Gestirne aufhört, daß die einzelnen Geschöpfe wieder in einen gestaltlosen Zustand zurücksinken. Für den Tod der Organismen fehlt ein solcher Erklärungsgrund. Der gesündeste Organismus stirbt am Ende blos aus innerer Ursache; es scheint, daß für jeden nur eine beschränkte Reihe von Metamorphosen besteht, nach deren Zurücklegung er die Fähigkeit verliert, die planetarischen Stoffe seiner eigenen Substanz anzueignen. Während die Centrifugalkraft der Gestirne durch das Medium des Himmelsraumes zunehmend vermindert wird, entzieht jene innere Ursache dem Organismus immer mehr die Kraft, seine eigenthümliche Zusammensetzung und Bewegung zu erhalten. Die Stoffe, welche den organischen Gesetzen längere oder kürzere Zeit gedient hatten, kehren wieder unter die chemischen und physikalischen Gesetze des Planeten zurück.

Wir sind noch weit davon entfernt, diese innere Ursache des Todes der Organismen näher bezeichnen zu können. Doch dürfte sie in genauem Zusammenhange mit der Thatsache stehen, daß die Substanz der Organismen nur gleichsam eine geborgte ist. Der Widerstand dieser Substanz gegen die gestaltende organische Thätigkeit scheint mit dem Alter des Organismus zuzunehmen, bis endlich ein Punkt kommt, wo das organische Princip das planetarische nicht mehr zu bewältigen vermag, wo ein innerer Widerstreit den Untergang des Organismus herbeiführt.

Die eigenthümliche Form der organischen Bildung, welche ein organisches Individuum darstellt, geht mit diesem nicht völlig zu Grunde. Sie wird in neuer Weise durch das Individuum fortgesetzt, welchem der untergegangene Organismus den Ursprung gegeben hat. Dadurch entsteht für jede besondere Form

Digitized by Google

eine Reihe von Individuen, und es ist jetzt nothwendig, diese Reihe, die organische Species, näher zu betrachten.

---

4) **Die organische Species.** Wenn von einem Organismus oder von einem Paare von Organismen ein neues Individuum seinen Ursprung nimmt, so theilt dieses mit dem mütterlichen und väterlichen Organismus die wesentlichsten innern und äußern Eigenschaften. Man hat bei dieser Vergleichung nicht einzelne Seiten oder einzelne Momente, sondern das ganze Leben des Individuums ins Auge zu fassen; unter dieser Voraussetzung zeigt es sich, daß das neue Individuum keinem andern so ähnlich ist, als den zwei Individuen, welche sich zu ihm als Eltern verhalten oder dem Einen Individuum, welches allein als Mutterorganismus seine Entstehung vermittelt hat. Je nach der Art der Fortpflanzung zeigt aber diese Aehnlichkeit wieder verschiedene Stufen. Die geschlechtlose Fortpflanzung, geschehe sie durch Theilung oder durch innere Keime, liefert immer Organismen, welche dem Mutterorganismus am ähnlichsten sind; wo sich aber ein Gegensatz der Geschlechter findet, weicht der neue Organismus bedeutender von dem väterlichen und mütterlichen Typus ab. So werden die Eigenthümlichkeiten vieler Kulturpflanzen, z. B. die Vorzüge der mannigfaltigen Obstbäume nicht durch die Samen, welche aus dem Zusammenwirken von Staubgefäß und Pistill hervorgegangen sind, sondern durch Ableger, d. h. durch Theilung der Mutterorganismen erhalten; die Stämme, welche man aus Samen zieht, verlieren gewöhnlich die geschätztesten, durch Kultur hervorgebrachten Eigenschaften.

Es ergibt sich schon aus dieser Vergleichung der Resultate der geschlechtlichen und geschlechtlosen Fortpflanzung, daß das neue Individuum mit Mutter und Vater unter allen Umständen nicht durchaus übereinstimmt. Es sind nur die wichtigsten, die wesentlichen Eigenschaften, welche sich von dem einen Individuum auf das andere übertragen; die unwesentlichen gehen bei

Digitized by Google

der Fortpflanzung ganz oder theilweise verloren. Diese Regel ist so durchgreifend und scheint so sehr der Wirklichkeit zu entsprechen, daß man Recht hat, zu behaupten, eben diejenigen Eigenschaften, welche bei der Fortpflanzung nicht verloren gehen, seien die wesentlichen Eigenschaften eines Individuums. Und in dieser Beziehung würde die geschlechtliche Fortpflanzung als die beste Probe dienen, weil sie am meisten alle unwesentlichen Eigenschaften ausschließt. Wenn man demnach bei der Vergleichung eines jeden neuen Individuums mit dem mütterlichen und väterlichen Organismus zwischen gemeinsamen und besonderen Eigenschaften unterscheiden muß, so ist klar, daß jeder neue Organismus wieder eine eigenthümliche, noch nie dagewesene Combination von Eigenschaften darstellt. Haben wir daher Unrecht zu behaupten, jeder neuentstehende Organismus habe zwar seinen Grund in einem früheren, und sei insofern die Fortsetzung eines früheren Organismus, aber mit seiner Entstehung sei doch etwas Neues ins Leben getreten, dessen Voraussetzungen nur theilweise in dem Vorhergegangenen gefunden werden können? Bei der Entstehung jedes Organismus muß eine Macht einwirken, welche außerhalb des väterlichen oder mütterlichen Organismus liegt, und da wir weder einem andern Organismus noch dem Planeten einen solchen Einfluß auf die organische Gestaltung zuschreiben können, so setzen wir jene Macht am besten in dasselbe Wesen, von welchem alles Neue in der Welt hervorgerufen wird, in Gott. Wo also ein Organismus durch Fortpflanzung entsteht, ist die schöpferische Macht Gottes thätig.

Wenn man zugibt, daß durch die Fortpflanzung nur unwesentliche Eigenschaften verloren oder geändert, die wesentlichen aber immer erhalten werden, so folgt unmittelbar, daß niemals ein Organismus einen andern entstehen lassen kann, welcher mit jenem nicht die wesentlichen Eigenschaften theilt, welcher in wesentlichen Eigenthümlichkeiten von jenem abweicht. Faßt man daher irgend einen Organismus ins Auge, so muß er als der

Digitized by Google

Endpunkt einer langen Reihe von Organismen gedacht werden, von welcher er abstammt, und in welcher jeder einzelne wieder auf einen vorhergehenden als seinen Mutterorganismus zurückweist. Wesentliche Eigenschaften haben sich in dieser Reihe von Anfang bis zu Ende erhalten, und wenn wir, wie es nicht anders möglich ist, einen zeitlichen Anfang der Reihe annehmen, so konnte auch der erste Organismus, mit welchem die Reihe begann, nicht von einem andern, wesentlich verschiedenen entspringen. Es konnte also dieser erste Organismus nicht durch Fortpflanzung entstanden sein; planetarische Processe aber vermögen keinen Organismus zu Stande zu bringen; es bleibt also nichts Anderes übrig, als auch hier wieder den schaffenden Gott anzuerkennen. Die schöpferische Macht Gottes ist nicht blos bei der Entstehung eines jeden Organismus aus seinem Mutterorganismus thätig; sondern Gott hat auch ursprünglich alle Organismen erschaffen und ihnen die Eigenthümlichkeiten eingepflanzt, welche sich jetzt in fortlaufender Reihe von einem Organismus auf den andern übertragen.

Geht man von einem dieser ursprünglichen Organismen aus, so entspringt von diesem natürlich nicht blos eine einfache Reihe; sondern die Reihe, von welcher er den Anfang bildet, verzweigt sich immer mehr, je weiter sie sich vom Ausgangspunkte entfernt. Die Individuen, welche von jenem ersten Organismus entspringen, gehören also nicht lauter verschiedenen Generationen an; vielmehr findet sich immer eine große Zahl von Individuen, welche von dem Ausgangspunkte gleich weit entfernt sind. Nun läßt sich von allen Organismen, die in ihren wesentlichen Eigenschaften übereinstimmen, als wahrscheinlich annehmen, daß sie von Einem Organismus oder von Einem Paare von Organismen herstammen; und man begreift alle diejenigen Organismen, von welchen man berechtigt ist, dieses anzunehmen, unter Einer Species oder Art. Dieser Begriff der Species verlangt nicht nothwendig, daß alle, in wesentlichen Eigenschaften übereinstimmenden Individuen von einem und

demselben Organismus herstammen. Es hindert nichts, anzunehmen, daß eine Species zu ihrem Ausgangspunkte einen oder mehrere Organismen gehabt habe; nur müssen den letzteren dann alle wesentlichen Eigenschaften gemeinsam gewesen sein. Nach dieser weiteren Erläuterung ist der Begriff der Species so festzustellen, daß zu ihr alle diejenigen Individuen gehören, welche i n i h r e n w e s e n t l i c h e n E i g e n s c h a f t e n ü b e r e i n s t i m m e n u n d d a h e r m ö g l i c h e r w e i s e v o n e i n e m u n d d e m s e l b e n M u t t e r o r g a n i s m u s a u s g e g a n g e n s e i n k ö n n e n.

Im einzelnen Falle kommt es natürlich darauf an, zu bestimmen, was als wesentliche Eigenschaft betrachtet werden muß. Dieses ist öfters leicht; aber nicht selten reichen auch unsere Kenntnisse zur scharfen Umgränzung der Species noch lange nicht hin; vorzüglich bei den Pflanzen herrscht in manchen Fällen verschiedene Meinung über den Werth einzelner Eigenschaften für die Bestimmung der Species. Wo indeß die Organismen den Gegensatz der Geschlechter erkennen lassen, da bietet sich ein neues Mittel zur Schätzung der einzelnen Eigenschaften dar. Bringt man z. B. den Blüthenstaub der einen Pflanze auf den Stempel einer andern Pflanze, so entwickelt sich kein Same, sobald die beiden Pflanzen in wesentlichen Eigenschaften sehr verschieden von einander sind. Weichen sie nur in wenigen Punkten von einander ab, so kann Samenbildung erfolgen; aber es fragt sich dann weiter, ob die Pflanze, welche sich aus dem Samen entwickelt, selbst wieder fähig ist, ein neues Individuum hervorzubringen. Hier gilt nun die Regel, daß nur solche Pflanzen, welche Einer Species angehören, Samen hervorbringen, aus denen selbst wieder in ununterbrochener Reihe fruchtbare Individuen entspringen. Pflanzen von zwei verschiedenen, aber nahe verwandten Arten können zwar noch ausnahmsweise mit einander fruchtbare Samen erzeugen; aber die nächste oder übernächste Generation der gemischten Form hat dann jedenfalls alle Fortpflanzungsfähigkeit verloren. Hienach gehören zu Einer pflanzlichen und ebenso zu Einer thierischen Species alle die-

Digitized by Google

jenigen Individuen, welche fähig sind, durch Vermittlung des Gegensatzes der Geschlechter fruchtbare Individuen in ununterbrochener Reihe hervorzubringen. Wesentliche Eigenschaften aber sind eben solche, die einer solchen Gesammtheit von Individuen gemeinschaftlich sind. Die Wichtigkeit dieser Umgränzung der Species wird später, wenn es sich von der Einheit oder Vielheit der menschlichen Species handelt, deutlich hervortreten.

Trotz aller Schwierigkeiten der Anwendung des Begriffes in einzelnen Fällen steht doch die Species als eine höhere Einheit über den organischen Individuen. Man hat auch die verwandten Mineralien in Species zusammengefaßt; man könnte auch alle Planeten, alle Monde oder Kometen als besondere Species von Gestirnen betrachten; aber dieses Wort würde dann nichts Weiteres bedeuten, als die Zusammenfassung verwandter Naturkörper unter einem abstrakten Begriffe. Die organische Species hingegen wurzelt in der Natur selbst; sie beruht theils auf dem gemeinsamen Ursprunge einer gewissen Zahl von Individuen, theils auf ihrer Fähigkeit, zur Hervorbringung einer neuen Reihe von gleichartigen Individuen zusammenzuwirken. Daher umfaßt auch der Charakter der Species alle wesentlichen Beziehungen eines organischen Individuums. Er begreift seine Gestalt, seinen Bau, seine äußere und innere Thätigkeit; er bezieht sich insbesondere auch auf das Verhältniß des Individuums zum Planeten. Wenn, wie wir früher zeigten, den Zonen und Regionen der Erdoberfläche eigenthümliche Organismen entsprechen, so prägt sich diese Eigenthümlichkeit immer in der besonderen, pflanzlichen oder thierischen Species aus, welche einer Zone oder Region angehört. Noch auffallender zeigt sich diese Bedeutung der Species in der Harmonie, welche zwischen einzelnen Continenten oder Meeren und den sie bewohnenden Organismen herrscht (I. 313); es ist auch hier die organische Species, welche den einzelnen Gegenden den Stempel der Eigenthümlichkeit aufdrückt. Und wie in der jetzigen Ordnung der

Digitized by Google

Dinge die Vertheilung der Species mit den klimatischen Verhältnissen in der genauesten Beziehung steht, so ist es seit der Erschaffung der ersten Organismen gewesen. Alte Species erloschen mit dem Schluße der Erdperiode, welcher sie angehörten, und neue Species bezeichneten durch ihr Auftreten eine neue Epoche der Erdbildung.

Die Species ist das Feste und Unwandelbare im organischen Reiche. Jede Species wurde mit den ihr wesentlichen Eigenschaften in Einem oder mehreren Individuen geschaffen; sie kann untergehen, aber sie kann sich in keine andere Species umwandeln. Das Wechselnde sind die Individuen, welche Einer Species angehören. Sie halten die wesentlichen, specifischen Eigenschaften fest; aber sie ändern die unwesentlichen mannigfaltig ab, je nach Geschlechtern, nach Alter, Klima oder Jahreszeit. Solche unwesentlichen Abänderungen werden oft, so lange man Thiere oder Pflanzen noch nicht näher kennt, mit specifischen Unterschieden verwechselt. Aber insbesondere nehmen den Schein der Species solche Abänderungen an, welche unter gleichen äußeren Verhältnissen sich durch mehrere Generationen fortgepflanzt haben. Die lange Dauer macht diese Unterschiede fester; und je länger sie gedauert haben, desto schwieriger und langsamer gelingt es, die Organismen wieder auf den einfacheren Typus der Species zurückzuführen. Auf solche Weise entstehen innerhalb der Species die Rassen oder Spielarten; man muß sehr auf der Hut sein, diese nicht mit der Species selbst zu verwechseln; so haben die Abarten der menschlichen Species zu Verwechslungen vielfache Veranlassung gegeben. Aber die Rasse oder Spielart hat mit der Species doch nichts Wesentliches gemein; sie kann willkührlich, z. B. durch Kultur, sowohl hervorgerufen als abgeändert werden.

Kein Himmelskörper besteht im weiten Himmelsraume für sich; sondern alle sind durch das Gesetz der Schwere in bestimmte Sternsysteme eingefügt; alle beschreiben Bahnen um Mittelpunkte, welche gewöhnlich durch einen massigen Centralkörper bezeichnet

Digitized by Google

werden. An jedem Himmelskörper muß daher theils seine Individualität, theils seine Stellung im höheren Systeme ins Auge gefaßt werden. Aehnlich verhält sich jeder Organismus; seine Thätigkeit bezieht sich theils auf seine individuelle Existenz, theils auf seinen Zusammenhang mit einem größeren Ganzen. Was nun für den Planeten die Sonne ist, das wird für das organische Individuum durch die Species dargestellt, der höhere Mittelpunkt, gegen welchen alle untergeordneten Individuen sich hinrichten. Aber der Mittelpunkt unseres Planetensystemes ist greifbar und wird durch physikalische Gesetze scharf bestimmt; die Species hingegen tritt an sich nirgends in die Erscheinung, sondern zieht sich als eine ideale Einheit durch die wechselnden Gestalten der vielen, ihr angehörigen Individuen hin. Der nächste Zweck des organischen Individuums ist die Selbsterhaltung; sie wird vorzüglich durch gehörige Aufnahme und Aneignung äußerer Nahrungsstoffe bedingt. Ueber diesem individuellen Zwecke steht aber noch ein höherer, nämlich die Erhaltung der Species; für diese sorgt das Individuum durch Hervorbringung neuer Individuen, und es geschieht bei Pflanzen und Thieren nicht selten, daß mit der Hervorbringung des neuen Individuums das Leben des alten sein Ende findet.

Die Species überdauert das einzelne Individuum; aber sie besteht blos durch Uebertragung ihrer Eigenthümlichkeit von einem Individuum auf das andere. Unvergänglich ist auch die Species nicht; denn nicht nur in früheren Perioden der Erdbildung sind sehr viele organische Species untergegangen, sondern auch die Erinnerung der Menschen kennt einzelne Thierspecies, welche früher existirt haben und jetzt ausgestorben sind. Ueber der Species steht nun freilich keine solche höhere Einheit, wie die Species gegenüber vom Individuum darstellt. Man faßt wohl die verwandten Species wieder in Gattungen, die verwandten Gattungen in Familien, Ordnungen und Klassen zusammen. Aber alle diese höheren Eintheilungen sind, wenn sie auch möglichst der Natur entsprechen, doch nicht in der Natur

Digitized by Google

selbst vorhanden; sie sind nur Gebilde des ordnenden menschlichen Verstandes. Die durchgreifendste Eintheilung, welche über der Species gemacht werden muß, ist die Scheidung des organischen Reiches in Pflanzen- und Thierreich; nur diese Eintheilung ist scharf und naturgemäß, und beruht auf den wesentlichsten Beziehungen der organischen Körper; wir werden sie im nächsten Abschnitte näher begründen.

Uebersicht.

Das Verhältniß des Organismus zum Planeten ist ein doppeltes; auf der einen Seite begreift es die wesentliche Verschiedenheit beider Gebilde, auf der andern Seite ihre innige Harmonie.

Wir dürfen es jetzt als bewiesen betrachten, daß der Organismus kein einfaches, physikalisches oder chemisches Produkt des Planeten ist, sondern daß er in Bezug auf Zusammensetzung, auf Bewegung und äußere Gestalt wesentlich vom Planeten abweicht. Der Planet und der Organismus haben jeder für sich eine eigenthümliche Existenzweise; keiner läßt sich aus dem andern vollständig begreifen. Aber dieser Verschiedenheit steht die innigste Verknüpfung beider gegenüber. Wir haben den Zusammenhang der Organismen mit den klimatischen Verhältnissen, mit den Zonen und Regionen, mit Sommer und Winter, mit der unerklärten Eigenthümlichkeit der einzelnen Continente und Meere, endlich mit den einzelnen Epochen der Erdbildung zur Genüge besprochen. Hier tritt immer die organische Species als der Ausdruck der Eigenthümlichkeit des Wohnortes der Thiere und Pflanzen auf. Aber die Harmonie geht noch viel mehr ins Einzelne. Der Wechsel der Jahreszeiten steht, wie Jedermann weiß, im genauesten Zusammenhange mit dem Wachsthum und der Samenbildung der Gewächse. Den Gegensätzen von Tag und Nacht entspricht vorzüglich bei den Thieren

Digitized by Google

Wachen und Schlafen. Andere organische Processe richten sich nach den Zeitabschnitten, welche der Umlauf des Mondes um die Erde begründet.

Wenn der Organismus nur ein Theil des Planeten wäre, wie es der Krystall ist, so würde die erwähnte Uebereinstimmung nichts zu der Harmonie hinzufügen, welche zwischen den einzelnen Theilen des Planeten herrscht (I. 462); die verschiedenen Seiten und Beziehungen der planetarischen Existenz hätten sich dann dem Organismus als einem Produkte des Planeten gleich bei seiner Entstehung eingeprägt. Aber diese Erklärung fällt weg, wenn der Organismus ein Geschöpf eigener Art darstellt. Unter dieser Voraussetzung versuchte man sich nun organische Wesen zu denken, welche noch unausgebildet in Berührung mit den planetarischen Einflüssen gekommen seien und erst von diesen ihr bestimmtes Gepräge erhalten haben. Erst der Einfluß der Jahreszeiten hätte die Vegetationsperioden der Pflanzen bestimmt; die Verschiedenheit der Species wäre erst unter der Einwirkung äußerer, klimatischer Ursachen entstanden. Allerdings läßt sich nicht entscheiden, in welchem Zustande die ersten Organismen auf der Erde erschienen sind; denn seit Menschen die Erde bewohnen, ist ohne Zweifel keine neue organische Species auf dieser entstanden, und es läßt sich auch gar nicht erwarten, daß solche Species noch später entstehen werden. Aber es kann doch nicht geläugnet werden, daß die Annahme jener unbestimmten, erst bildungsfähigen Organismen zu unglaublichen Schlußfolgerungen führt. Je nachdem die Thiere zum Schwimmen oder zum Fliegen sich hingewendet hätten, wären ihnen Floßen oder Flügel gewachsen. Derselbe Pflanzenkeim hätte sich je nach seiner Umgebung bald zu einem Moose bald zur hohen Palme entwickelt.

Erwägt man die Eigenthümlichkeit der Organismen gegenüber vom Planeten, und bedenkt man überdieß, wie bestimmt jedem Organismus der Weg seiner ganzen Entwicklung durch ein inneres Gesetz vorgezeichnet ist, so muß die Annahme natur-

Digitized by Google

gemäß erscheinen, es seien gleich von Anfang an Organismen, ausgerüstet mit bestimmten, specifischen Eigenschaften und harmonirend mit der umgebenden Schöpfung, entstanden. Oder mit anderen Worten: die Naturbeobachtung spricht aufs entschiedenste dafür, daß die Organismen weder als einfache Produkte des Planeten entstanden, noch durch die Einflüsse des Planeten erst zu ihrer Eigenthümlichkeit gelangt sind, sondern daß Gott die Organismen fertig, specifisch gebildet und in Harmonie mit der übrigen Natur geschaffen hat. In diesem Satze ist zweierlei enthalten, nämlich die schöpferische Macht Gottes, welche in dem Planeten nicht ruhte, sondern auf seiner Oberfläche Wesen neuer Art erschuf, und die durchdringende Weisheit Gottes, welche diese neuen Geschöpfe mit dem schon bestehenden Planeten in wunderbare Uebereinstimmung setzte. Gott ist hier beide Male das Verbindende der Erscheinungen, während das natürliche Band durchaus fehlt.

Wie der Planet vor allen Organismen schon bestanden und seine bestimmte Form erhalten hatte, so dient er überhaupt als Voraussetzung für die Existenz des organischen Reiches; es läßt sich recht wohl ein Planet ohne Organismen, aber es lassen sich durchaus nicht Organismen ohne einen Planeten denken. Aus der Erde nimmt der lebende Organismus alle Grundstoffe für die Neubildung seiner Theile; zur Erde kehren bei dem Tode eines organischen Individuums seine Stoffe wieder zurück. Hier kann nun allerdings nicht bezweifelt werden, daß in der Ausbildung der Erde eine bestimmte Stufe erreicht sein mußte, ehe Organismen auf ihr entstehen konnten, daß ferner die Entstehung neuer Organismen immer auch neue Veränderungen in unserem Planeten voraussetzte. Aber die Organismen sind keine Produkte, sondern nur Denkzeichen der verschiedenen Stufen der Erdbildung; mit dem höchsten Organismus, welchen unsere Erdoberfläche beherbergt, mit dem Menschen, scheint auch die Reihe ihrer Entwicklungsstufen völlig abgeschlossen zu sein. Wenn wir

Digitized by Google

nun in der Welt nicht blos ein ewiges Einerlei von Processen sehen, wenn wir anerkennen, daß Gott eben so gut das Ganze als das Individuum durch verschiedene Zustände und Gestalten hindurchführt (I. 479), so müssen wir auch die Entstehung der Organismen auf unserer Erde als ein solches Fortschreiten der göttlichen Schöpfung betrachten. Es entspricht aber unseren Ideen von einer göttlichen Weltordnung, daß jeder Fortschritt von einer Stufe der Schöpfung zur anderen auch immer das göttliche Wesen von einer neuen Seite und mit größerer Schärfe und Bestimmtheit offenbart. Unter dieser Voraussetzung dürfen wir das organische Reich gegenüber von dem Planeten als eine höhere Stufe der göttlichen Offenbarung ansehen.

Wenn man die Grundstoffe, aus welchen die Organismen bestehen, als ursprünglich planetarische ansehen will, wenn man also voraussetzt, Gott habe das Material zur Bildung der Organismen aus dem schon vorhandenen Planeten genommen, so könnte leicht die Annahme als gerechtfertigt erscheinen, der Organismus sei eben nichts Anderes, als ein wunderbares, aus irdischen Stoffen zusammengesetztes Kunstwerk; ein göttlicher Gedanke habe sich in den Organismen auf ähnliche Weise verwirklicht, wie der Gedanke des Künstlers sich in einer Statue oder einer Maschine ausprägt. Nach dieser Ansicht wäre das Leitende und Bewegende nicht den Organismen selbst eigen; sondern es befände sich außer ihnen und würde nur zeitweise auf ihre Bildung und Bewegung einwirken. Aber in der Wirklichkeit ist es gerade umgekehrt; im Organismus äußert sich viel mehr, als im Planeten, ein inneres, selbständiges, gestaltendes und bewegendes Princip. Dieses kann daher auch sich zu den chemischen Grundstoffen der Organismen nicht so äußerlich verhalten, wie der Gedanke des Künstlers zum Stoffe des Kunstwerkes. Gott hat die Organismen nicht aus vorhandenen Grundstoffen und einer neuen Kraft zusammengesetzt; er hat sie vielmehr, wie alle Geschöpfe (I. 172), auf einmal und als Ganze, Stoffe und Kräfte mit einander, ins Leben gerufen.

Digitized by Google

In dieser Beziehung stimmen also die Organismen mit allen übrigen Geschöpfen und insbesondere auch mit dem von ihnen bewohnten Planeten überein. Aber die Stellung, welche die Organismen zum Planeten einnehmen, macht ihre Verhältnisse eigenthümlich. Wenn wir uns auch denken, daß die Grundstoffe der organischen Körper zugleich mit den organischen Individuen durch göttlichen Willen erschaffen worden sind, so trat doch der geschaffene Organismus sogleich in ein bestimmtes Verhältniß zu seinem Planeten, und dieses Verhältniß war, wie wir schon andeuteten, das einer innigen Harmonie und einer theilweisen Abhängigkeit. Der Organismus blieb nicht, wie der Krystall, todt und unthätig an der Oberfläche der Erde; er fing an, seine Stoffe mit den tellurischen auszutauschen; er führte Bewegungen aus, welche von der irdischen Schwere nicht unabhängig waren, aber zugleich die äußerste Oberfläche des Planeten mannigfach abänderten. Der Organismus hatte indeß nicht blos die Grundstoffe mit dem Planeten gemeinsam; sondern auch einzelne chemische Verbindungen, welche der Erde eigenthümlich sind, fanden sich im Organismus vor, so insbesondere Kohlensäure, Wasser, Kalkerde und andere Oxyde der leichten Metalle. Ebenso waren nicht alle seine Bewegungen aus inneren Ursachen erklärlich; sondern in dem Kreislaufe seiner Säfte und in der Ortsbewegung seiner äußeren Glieder fanden die Gesetze der gewöhnlichen Mechanik vielfach ihre Geltung. Während also das eigenthümliche Wesen des Organismus ihn von Anfang an zu selbständiger Wechselwirkung mit dem Planeten trieb, theilte er andere Seiten seiner Existenz von Anfang an ganz mit dem Planeten.

Der Einfluß der Organismen ist an dem Planeten durchaus nicht ohne nachhaltige Wirkungen geblieben. Wir haben schon früher wiederholt darauf hingewiesen, wie bedeutend die Reste der organischen Körper zur Bildung neuer, wäßriger Absätze an vielen Stellen beitragen, wie namentlich die Ablagerungen des kohlensauren Kalkes, sofern sie mächtige Gebirgs-

Digitized by Google

schichten darstellen, vielleicht immer durch thierische Organismen, durch Infusorien und Korallenthiere vermittelt worden sind (I. 409, 457). Aber diese Einwirkungen bezogen sich doch immer nur auf die Oberfläche des Erdkörpers; nur diese, nur die Atmosphäre und die Gewässer der Erde tauschten ihre Bestandtheile mit den Organismen aus; der Kern, d. h. die bei Weitem größte Masse des Erdkörpers, blieb von der Wechselwirkung mit den Organismen ganz unberührt. So bewahrte der Planet dem organischen Reiche gegenüber seine stoffliche Selbständigkeit. Aber in den organischen Körpern ist kein einziger Theil dem äußeren Stoffwechsel fremd geblieben. Die Umwandlung der Stoffe geschieht allerdings in verschiedenen Theilen der Organismen mit verschiedener Schnelligkeit, in den Knochen der Thiere z. B. viel langsamer, als in ihren Muskeln oder Nerven; aber darum kann doch von keinem einzigen Theilchen eines Organismus angenommen werden, daß es noch gerade dieselben Stoffe enthalte, welche bei der ersten Entstehung des Thieres zu seiner Bildung beigetragen haben; darum erscheint doch jeder Organismus, nachdem er kurze Zeit existirt hat, als ein Gebilde aus planetarischen, vom Organismus angeeigneten Substanzen; darum ist das organische Material nur im ersten Anfange dem Organismus eigen, und hat nachher aus der umgebenden Schöpfung seinen Ursprung genommen.

In Bezug auf die Grundstoffe seines Körpers ist demnach der Organismus von der Wechselwirkung mit der planetarischen Welt völlig abhängig; wenn ihm die Stoffzufuhr fehlt, so hört nach kurzer Zeit sein Stoffwechsel und sein Leben vollständig auf. Er findet aber seine Selbständigkeit in einer anderen Richtung, in der Verbindung, Bewegung und Gestaltung seiner Stoffe. Die Eigenthümlichkeit der chemischen Verbindungen und der Bewegungsweisen würde für den Organismus noch keinen Fortschritt gegenüber vom Planeten ergeben; denn schon die wesentliche Differenz beider verlangt, daß auch ihr stoffliches und physikalisches Verhalten ein verschiedenes

sei. Aber die Gestalt entwickelt sich bei dem Organismus mit einer Vielseitigkeit und Freiheit, welcher beim Planeten nichts Entsprechendes gegenübersteht. Im Innern des Planetenkörpers tritt allerdings jedes Mineral, wo es freier seine Formen bilden kann, eigenthümlich gestaltet hervor; aber der Krystall wiederholt in seiner Form nicht den Planeten, sondern zeigt in ihr eben, daß er nur ein einzelnes, unselbständiges Stück des Planetenganzen ist. Anders verhält sich der innere Bau der Organismen.

Wo nämlich der organische Körper nicht auf der Stufe der einfachen Zelle stehen bleibt, — und dieß ist bei der großen Mehrzahl der Pflanzen und Thiere der Fall, — da besteht er aus einer sehr großen Zahl mikroskopischer Theilchen, aus den sogenannten Formelementen. Jedes dieser kleinen Theilchen ist aus der Zelle hervorgegangen, und läßt seinen Ursprung mit größerer oder geringerer Leichtigkeit noch an sich erkennen. Die Formelemente des Organismus theilen also mit dem ganzen Organismus den Grundtypus ihrer Gestalt. Sie wiederholen gleichsam das Ganze des organischen Körpers im kleineren Raume. Sie ordnen sich dem organischen Ganzen als Theile unter; aber ihre Gestalt zeigt, daß sie nicht, wie die Mineralien, nur einzelne Seiten des Ganzen darstellen, sondern selbst wieder die ganze organische Thätigkeit, nur unter einer bestimmten Form, in sich schließen. Die Zelle ist der Ausgangspunkt für den Organismus und für seine Formelemente; sie umfaßt immer alle Seiten der organischen Thätigkeit. Aber das eine Mal, indem sie sich selbst zum Individuum entwickelt, bildet sie alle jene Seiten gleichmäßig aus; das andere Mal, indem sie nur als Theil des Individuums auftritt, neigt sich ihre Thätigkeit überwiegend nach der einen oder nach der anderen Seite hin. Dieser verschiedenen Ausbildung der Zellenthätigkeit entspricht natürlich auch eine Veränderung ihrer Formen; bei den Thieren wendet sich die einzelne Zelle viel überwiegender, als bei den Pflanzen, Einer Seite der organischen Thätigkeit

Digitized by Google

zu, und es ist daher im Thiere meistens viel schwerer, als in der Pflanze, die ausgebildeten Formelemente auf den Urtypus der Zelle zurückzuführen. Die nächsten Abschnitte werden hierüber die weiteren Aufschlüsse geben. Wenn nun wirklich die mikroskopischen Untersuchungen der neueren Zeit bewiesen haben, daß die Organismen aus Formtheilchen bestehen, welche das Ganze in einer bestimmten Weise wiederholen, so muß es einleuchten, mit wie viel größerer Selbständigkeit die Theile des Organismus zur Harmonie des Ganzen zusammenwirken, als die festen, wäßrigen oder luftartigen Theile der Planeten. Aber wir haben jetzt auch zu zeigen, daß diese Selbständigkeit die Harmonie des organischen Ganzen keineswegs stört, sondern zur größeren Mannigfaltigkeit in jener Harmonie wesentlich beiträgt.

Der Planet erleidet, wie aus wiederholten Hinweisungen hervorgeht, in den Perioden seines Bestehens nur geringe Veränderungen seiner äußeren Form. Ueberdieß lassen sich diese Veränderungen aus den gewöhnlichen Gesetzen der Chemie und Physik mit Leichtigkeit ableiten. Die Umdrehung der Erde um ihre Axe, die Schwere, welche vom Erdmittelpunkte aus wirkt, der Gegensatz zwischen der Wärme des Erdinnern und der Kälte des Himmelsraumes, endlich die chemische Wechselwirkung zwischen dem Erdkörper und seinen Hüllen erklären die Abplattung der Erdpole und die Berge und Thäler der Erdoberfläche zur Genüge. Aber die Gestalt der Organismen weicht mit der fortschreitenden Entwicklung immer mehr von der Zellenform ab, und sie wird durch Gesetze bestimmt, welche sich so wenig, als die eigenthümliche Zusammensetzung und die selbständige Bewegung der organischen Körper, in der unorganischen, planetarischen Natur wiederfinden. Wir zeigten (I. 467), daß die Erde von dem ersten Anfange ihrer Existenz an ununterbrochen eine Reihe von Entwicklungsstufen durchlaufen hat; wir mußten annehmen, daß gleich in die ersten Anordnungen des Planeten, in seine erste Zusammensetzung aus ungleichartigen, sich gegen-

seitig bedingenden Theilen ein Anstoß zu dauernden Veränderungen gelegt gewesen sei. So verhält es sich ohne Zweifel auch bei jedem Organismus; das Ei, der erste organische Keim schließt schon alle Gegensätze von Zellenmembran und Zelleninhalt, von stickstoffloser und stickstoffhaltiger, von organischer und unorganischer Substanz in sich, welche nachher die Grundlage des organischen Lebens bilden; schon in der einfachsten Zelle muß eine eigenthümliche Verbindung der Grundstoffe und eine selbständige Bewegung wenigstens der organischen Säfte gedacht werden. Aber alle diese Momente reichen nicht hin, um zu erklären, warum der Organismus nicht bei seiner einfachen, ursprünglichen Zellenform bleibt, warum er in verschiedenen Richtungen sich ausdehnt und mannigfache Glieder nach außen entwickelt. Hier muß ein innerer Gestaltungstrieb vorhanden sein, der die chemische und physikalische Beschaffenheit der Stoffe wohl benützt, aber im Wesentlichen doch unabhängig von derselben bleibt.

Es läßt sich nach allen diesen Erörterungen dem Schlusse nicht ausweichen, daß in den Organismen ein eigenthümliches Princip thätig sei, welches sich nicht nach den chemischen und physikalischen Gesetzen des Planeten richtet. Dieses Princip unterwirft sich die planetarischen Grundstoffe; es verbindet sie zu neuen Substanzen und treibt sie zu eigenen Bewegungen an; aber vornehmlich durchdringt es den ganzen Organismus mit dem Triebe der Gestaltung, welcher im Innern Zellen aus Zellen erzeugt und der äußeren Form eines jeden Organismus neue Eigenthümlichkeiten verleiht. Die Unabhängigkeit, welche dieses Princip in Bezug auf den ununterbrochenen Wechsel der ihm dienenden Stoffe und auf die Entwicklung der organischen Formen behauptet, gibt ihm für den Beobachter eine gewisse Freiheit, welche dem Planeten fehlt. Es ist dieß die Freiheit im organischen Bilden und Gestalten, welches zwar die äußeren Stoffe zur Ausführung seiner Zwecke bedarf, aber die alten

Digitized by Google

Stoffe immer abnützt, um sich neue zu unterwerfen. Sollen wir dieses Princip als eine Kraft, als Lebenskraft bezeichnen?

Es scheint uns von großer Wichtigkeit, das Wort „Kraft" nicht in mehr als Einer Beziehung anzuwenden. So wie es in der Physik gewöhnlich gebraucht wird, bedeutet es die Ursache einer an sich einfachen Naturerscheinung, also die Ursache eines elektrischen, eines magnetischen oder chemischen Phänomenes, die Ursache des Falles oder des inneren Zusammenhangs eines Körpers. Aber wenn man von Lebenskraft spricht, so versucht man damit nicht die Ursache irgend einer einfachen Erscheinung, einer einfachen Lebensthätigkeit, wie der Nervenfunktion, auszudrücken. Gerade umgekehrt bezeichnet man damit die geheimnißvolle Ursache, welche alle die verschiedenen Theile, alle die verschiedenen Thätigkeiten des organischen Körpers zu Einem Zwecke verbindet und zusammen durch die verschiedenen Stufen der Entwicklung und des Wachsthumes hindurchführt. Diese Lebenskraft ist nirgends als eine einfache in einzelnen Aeußerungen zu fassen; sie äußert sich nur in dem harmonischen Zusammenwirken der organischen Processe. Daher ist es besser, den Ausdruck „Lebenskraft" zu verlassen; denn es kann nur Verwirrung herbeiführen, wenn die Ursache des organischen Lebens in Eine Reihe mit den gewöhnlichen Kräften der Physik gestellt wird. Besser scheint es, nur von einem Lebensprincipe zu sprechen; denn dadurch wird über die Ursache der organischen Processe nur ausgesagt, daß sie nicht unter die gewöhnlichen Naturkräfte gehöre. Wiefern aber dasjenige, worin sich jenes Princip äußert, Leben genannt werden müsse, wird sich aus dem Ferneren ergeben.

Das Lebensprincip tritt zunächst innerhalb der Gränzen des organischen Individuums auf. Hier hängt es aufs Innigste mit der eigenthümlichen Mischung und mit der selbständigen, innern und äußern Bewegung der organischen Körper zusammen. Aber es fragt sich: verhält sich hier das Lebensprincip so, wie man es sich von der Lebenskraft vorstellte? muß

das Lebensprincip als die Ursache der chemischen und physikalischen Eigenthümlichkeit der Organismen betrachtet werden? Es ist am Besten, zur Beantwortung dieser Frage auf die Verhältnisse der Individuen überhaupt zurückzugehen. Was ist der erste Keim einer Pflanze oder eines Thieres im Wesentlichen anders, als die ersten Anfänge der selbständigen Existenz unseres Planeten oder aller Gestirne? Organismen und Gestirne treten als eigenthümliche, aus verschiedenartigen Theilen zusammengesetzte Geschöpfe in die Wirklichkeit. Aber es ist noch Niemand eingefallen, die Eigenthümlichkeit, welche sich in der Zusammensetzung und der Bewegung jedes Himmelskörpers zeigt, etwa aus einem unbekannten Principe abzuleiten, welches die Substanzen jedes Himmelskörpers gerade so geordnet und mit einem solchen Maaße der Kräfte ausgerüstet habe. Dieses Princip wäre nichts Anderes, als der Ausdruck für die Individualität der Himmelskörper, und wir haben früher erklärt (I. 255), wie der Grund aller Individualität nicht in einer Naturkraft, sondern jenseits der Natur, in Gott, zu suchen ist. Was aber bei den Gestirnen gesagt wurde, das gilt ganz auf dieselbe Weise von jedem organischen Individuum: keine Lebenskraft, kein Lebensprincip, sondern der schöpferische Gott ist der Grund seiner Individualität.

Eben so wenig bedürfen wir das Lebensprincip, um den ununterbrochenen Wechsel in Mischung und Bewegung zu erklären, welcher die Entwicklung der Organismen von Anfang bis zu Ende begleitet. Gott hat bei den organischen Körpern eben so wohl, als bei den Gestirnen, in die erste Zusammensetzung aus ungleichartigen Theilen einen ununterbrochenen Antrieb zu Veränderungen gelegt (I. 463); er hat auch die Organismen ursprünglich so angeordnet, daß ihre Veränderungen in bestimmter Ordnung bis zu einem festen Ziele hin erfolgen (I. 476). In den Organismen, wie in den Gestirnen, hat sich also die göttliche Weisheit und Vorsicht durch die Vorbildung des ersten Keimes für alle seine Entwicklungsstufen deutlich geoffenbart.

Digitized by Google

Wir bedürfen nur den schaffenden Gott, um die dauernden, wie die wechselnden, chemischen und physikalischen Verhältnisse der Organismen auf ihre wahre Ursache zurückzuführen. Aber es ist nothwendig, hier noch zu überblicken, in welcher Weise der Schöpfer für jene organischen Vorgänge von Anfang an vorgesorgt hat.

Der organische Stoffwechsel insbesondere hängt genau mit der chemischen Beschaffenheit der organischen, in die Processe eingehenden Substanzen zusammen. Während in dem Planeten die eine Verbindung der andern so schroff gegenübersteht, daß es theils unmöglich theils schwierig ist, sie in diese umzuwandeln, so treten in den Organismen mehrere Reihen von chemischen Verbindungen auf, welche sich mit der größten Leichtigkeit in einander überführen lassen. In solchem Zusammenhange steht z. B. die Cellulose, das Stärkmehl, das Dextrin und der Zucker der Pflanzen. Diese vier Stoffe enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Das Verhältniß dieser drei Elemente ist bei den drei erstgenannten Substanzen so ähnlich, daß es bis jetzt noch nicht gelang, ihre Verschiedenheit auch durch die chemische Formel auszudrücken; ebenso weicht der Zucker von den drei anderen Substanzen in seiner chemischen Zusammensetzung nur sehr wenig ab. Stärkmehl wird aber mit der größten Leichtigkeit in Dextrin und Zucker übergeführt, und Dextrin und Zucker verwandeln sich in Cellulose bei jeder Bildung von neuen Pflanzentheilen. Ebenso stehen sich der Faserstoff des thierischen Blutes und Fleisches, der thierische Eiweißstoff und der Käsestoff der Säugthiermilch nach äußern und innern Eigenschaften überaus nahe. Sie enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff, außerdem Schwefel und Phosphor in sehr ähnlichen Verhältnissen, und es scheint, daß sie außer dieser Aehnlichkeit noch durch Zwischenstufen sehr häufig in einander übergehen. Diese chemische Eigenthümlichkeit der organischen Substanzen befördert natürlich den Stoffwechsel in hohem Grade;

Digitized by Google

es bedarf nur eines leichten Anstoßes, um die Umwandlung einer organischen Substanz einzuleiten.

Dazu kommt noch, daß die Umwandlung der einen Substanz sehr häufig auch die chemische Veränderung einer andern unmittelbar nach sich zieht. Zucker, in Wasser aufgelöst, zerfällt bekanntlich, wenn er bei etwas erhöhter Temperatur mit Hefe in Berührung kommt, in Weingeist und Kohlensäure. Alle Hefe ist stickstoffhaltige, in Zersetzung begriffene Substanz; es bedarf von ihr nur sehr wenig, um den stickstofflosen Zucker gleichfalls in die chemische Umwandlung hineinzureißen. Auf dieser Einwirkung beruht die geistige Gährung der zuckerhaltigen Flüssigkeiten; aber es ist noch nicht möglich gewesen, den Proceß der Gährung nach seinen inneren Gesetzen aufzuklären und mit den allgemeinen Regeln der chemischen Processe in Verbindung zu bringen. Und doch kommen in der Natur ohne Zweifel sehr viele Fälle vor, wo in ähnlicher Weise der Anstoß zur chemischen Umwandlung sich von einem organischen Stoffe auf den andern überträgt; die Verflüssigung des Stärkmehls in den keimenden Samen gehört gewiß in diese Klasse von Erscheinungen. Ueberhaupt scheint es aber, daß gerade die chemische Verschiedenartigkeit der organischen Substanzen die hauptsächliche Veranlassung des organischen Stoffwechsels ist. Unorganische und organische, stickstofflose und stickstoffhaltige Bestandtheile bedingen sich in dieser Beziehung wechselseitig, indem der eine den andern zur Veränderung seines chemischen Verhaltens anregt. Dieser allgemeine Satz läßt sich wohl aussprechen, wenn man auch im einzelnen Falle fast immer noch von einer genügenden Einsicht sehr weit entfernt ist. Die Chemie der organischen Körper befindet sich in dieser Beziehung noch bei den ersten Anfängen der Erkenntniß.

Auch für die Ausführung innerer und äußerer Bewegungen besitzen die Organismen von Anfang an eine möglichst vollkommene Anordnung ihrer Theile. Dahin gehört vor Allem die Bildung der organischen Häute, welche überall den Durch-

Digitized by Google

gang von Flüssigkeiten nach den Gesetzen der Endosmose vermitteln. Dahin gehören ferner die Cohäsionszustände aller Formelemente des Organismus. Um Beweglichkeit mit festem innerem Zusammenhalt zu verbinden, durften die einzelnen Theile der Organismen die verschiedenen Cohäsionszustände nicht in der vollen Schärfe ihrer Gegensätze repräsentiren. Die Hauptmasse der Organismen ist daher weich, mit Flüssigkeit getränkt; auch den festen Theilen fehlt es nicht an Elasticität, und tropfbare Flüssigkeiten finden sich nur an denjenigen Stellen, wo es darauf ankommt, durch mechanische Bewegung von Säften den inneren Stoffwechsel zu unterstützen. Neuere Untersuchungen machen es endlich wahrscheinlich, daß auch elektrische Gegensätze bei der Erregung organischer Bewegungen öfters in Betracht kommen.

Wir haben keineswegs die Absicht, aus dieser chemischen und physikalischen Anordnung der einzelnen Theile erst die eigenthümliche Existenz- und Thätigkeitsweise der Organismen ableiten zu wollen. Auf solche Weise können nur diejenigen verfahren, welche die organischen Körper nicht als geschlossene Individuen entstehen, sondern aus einem zufälligen Zusammentreffen der chemischen Affinitäten und der physikalischen Eigenschaften gewisser Substanzen sich sammeln und entwickeln lassen. Wir nahmen vielmehr an, Gott habe die Individuen als Ganze erschaffen. Von Gott muß also die Eigenthümlichkeit in der chemischen Zusammensetzung und in der mechanischen Bewegung der Organismen hergeleitet werden. Aber der Schöpfer hat bei den Organismen, wie bei den Gestirnen, die individuelle Eigenthümlichkeit in einer inneren Anordnung ausgedrückt, welche ebenso jene Eigenthümlichkeit durch alle ihre Entwicklungsstufen trägt und vermittelt, als sie selbst durch jene Eigenthümlichkeit allein Sinn, Bedeutung und Zweck erhält. Dieses wollten wir aber zeigen, daß die chemischen Processe und die mechanischen Bewegungen der Organismen zu ihrem Zustandekommen keiner selbständigen Lebenskraft bedürfen, sondern daß sie einfach aus

den Eigenschaften folgen, welche Gott in die ersten Keime der organischen Individuen gelegt hat.

In Bezug auf die allgemeinen Gesetze des Stoffwechsels und der mechanischen Bewegung macht also der Organismus aus sich nichts Neues, sondern wird, entwickelt sich einfach so, wie es mit Nothwendigkeit aus den wesentlichen, schon im Keime enthaltenen Bedingungen seiner Existenz folgt. Aber in Bezug auf seine Gestalt geht er über die Gränzen einer strengen Nothwendigkeit hinaus. Es gehört zum Charakter der organischen Körper, daß ihre Gestalt nicht an die Stoffe gebunden ist, welche den organischen Keim zusammensetzen, daß während ihres Lebens zu oft wiederholten Malen ihre Grundstoffe gegen neue, von außen aufgenommene vertauscht werden. Hiedurch allein wird es den Organismen auch möglich, von dem Anfange ihrer Existenz bis zum Höhepunkte ihrer Entwicklung fortwährend die Masse ihres Körpers durch von außen aufgenommene Stoffe zu vermehren, also nicht blos durch Austausch, sondern durch wirkliche neue Aufnahme die äußeren Stoffe in ihre eigene Substanz zu verwandeln. Die Gestalt der Organismen ist dadurch keineswegs an ein bestimmtes, ursprünglich vorhandenes Maaß von Stoffen gebunden, wie die Gestalt der Himmelskörper; sondern sie greift über dieses Maaß hinaus, sie bemächtigt sich noch weiterer Stoffe, und sie erhält eben damit gegenüber von den Stoffen eine selbständigere Stellung. Sie bleibt hier nicht blos der Abschluß der Individualität, das letzte Resultat aller im Individuum vor sich gehenden Processe; sondern sie bildet sich aus eigener Macht weiter; ihre selbständige Fortbildung wird die Ursache neuer Stoffaufnahme und, was sich daran unmittelbar knüpft, von erweiterter, umfangreicherer, organischer Thätigkeit. Wenn die Gestalt der Organismen sich nach ihrem eigenen Gesetze ausdehnt, so weicht sie eben damit auch von der Form des Keimes ab. Aus der Kugel der ersten Zelle heraus streckt sie sich in verschiedenen Richtungen und treibt Glieder hervor, durch welche der Organismus

Digitized by Google

mit der umgebenden Natur in Verbindung tritt. Und mit der größeren Mannigfaltigkeit der äußeren Form gewinnen auch die organischen Thätigkeiten, Stoffwechsel und Bewegung immer neue Seiten.

Wir haben die Gestalt früher (I. 258) als den Schlußstein der Individualität dargestellt. Diese Gestalt erhält im Organismus eine gewisse Selbständigkeit. Hier tritt jenes Lebensprincip hervor, welches nicht ein abstrakter Ausdruck, auch nicht ein bloses Resultat der organischen Vorgänge ist, sondern selbst auf diese Vorgänge bestimmend einwirkt. Die höchste Spitze der Individualität wird auch zuerst im Individuum frei von der unbedingten Unterwerfung unter die allgemeinen Naturgesetze. Die organische Gestalt beeinträchtigt die Naturgesetze nicht; sie bewirkt gerade durch diese Gesetze ihre Erfolge. Schwere, Cohäsion, chemische Affinität können den Weg nicht vorschreiben, welchen die Entwicklung der organischen Gestalt gehen wird; aber ein gewisses Maaß, eine gewisse Richtung jener Kräfte ist nöthig, damit die Form der Pflanze oder des Thieres sich richtig ausbilde; der Organismus gibt jenen Kräften selbst Maaß und Richtung, und wo er sie nicht sich zu unterwerfen vermag, da steht die Gestaltentwicklung eher still, als daß sie auf einen falschen Weg geführt würde. Wenn wir diesem gestaltenden Principe in den Organismen eine gewisse Selbständigkeit zuschreiben, so darf unter dieser in keiner Weise eine Wahlfähigkeit, eine solche Freiheit verstanden werden, wie sie den willkührlichen Bewegungen der Thiere und noch mehr den menschlichen Handlungen ohne Zweifel zu Grunde liegt. Die organische Gestalt entwickelt sich auch nach einem bestimmten Gesetze; aber dieses Gesetz ist ihr eigenthümlich, und folgt nicht aus den allgemeinen, für den Planeten geltenden Naturgesetzen; außerdem läßt das Gesetz der Gestaltbildung eine größere Beweglichkeit und Mannigfaltigkeit in der Bildung der verschiedenen organischen Körper zu.

Die eine Seite der Existenz verbindet demnach den Or-

Digitized by Google

ganismus mit dem Planeten, nämlich die Seite des Stoffwechsels und der Bewegung. Es sind dieselben Grundstoffe und dieselben Grundformen der Bewegung, welche in beiden Reichen vorkommen. Nur die Combination dieser Elemente der organischen und planetarischen Existenz ist verschieden; sie ist allen Geschöpfen als Ausdruck ihrer individuellen Eigenthümlichkeit ursprünglich von dem Schöpfer eingeprägt worden. Aus dieser ursprünglich verschiedenen Combination ist der ganze unterscheidende Charakter des organischen Stoffwechsels und der organischen Bewegung als nothwendige Folge abzuleiten. In dieser Beziehung stehen also der Organismus und der Planet als die Repräsentanten zweier verschiedenen Reiche einander gegenüber; aber sie stehen in dieser Beziehung auf Einer Stufe. Gott hat nun überdieß jedem Himmelskörper seine eigene Gestalt gegeben; er hat diese Gestalt von den inneren Processen und von den äußeren Verhältnissen der Gestirne so abhängig gemacht, daß sie von allen jenen Beziehungen nur das Resultat und eben dadurch der Abschluß und der äußere Stempel der eigenthümlichen Existenz jedes Himmelskörpers ist. In den Organismen aber hat Gott der Gestalt ihr eigenes Gesetz gegeben. Er hat jedes organische Individuum auf der einen Seite an die allgemeinen Naturgesetze gebunden und auf der andern Seite von ihnen unabhängig gemacht. Fassen wir nun Alles, was das Geschöpf zum Individuum macht, in dem Ausdruck des Principes der Individualität zusammen, so erhebt sich dieses in den Organismen von einem blosen abstrakten Begriffe zu einer selbständigen Wirksamkeit, zum Lebensprincipe dadurch, daß es in der organischen Gestaltung eine eigene, von den Naturgesetzen unabhängige Norm verfolgt. Setzen wir den Grund der Existenz der Natur überhaupt und der Individuen insbesondere in einen Akt des göttlichen Willens, so wird die Existenz der Gestirnindividuen einfach und mit Nothwendigkeit durch die Existenz der allgemeinen Natur, ihrer Kräfte und Gesetze bestimmt. Aber in jedes organische Individuum hat der Schöpfer ein Prin-

Digitized by Google

cip der Selbstbestimmung, nämlich der selbständigen Gestaltung gelegt; und dieses neue Princip bezeichnet den Fortschritt vom Reich der Gestirne zum Reiche des Organischen.

Wir haben oben aus einander gesetzt, wie der Organismus nicht durch einfache Ausdehnung seiner Oberfläche wächst und seine Gestalt verändert, sondern wie zu diesem Zwecke die ursprüngliche Zelle in ihrem Innern eine sehr große Anzahl von neuen Zellen entwickelt. Die freie Gestaltung äußert sich demnach in der ursprünglichen Zelle dadurch, daß sie in ihrem Innern sich selbst unzählige Male wiederholt. Zunächst entstehen durch diesen inneren Proceß nur solche Zellen, welche dem organischen Individuum unterworfen bleiben und nur einzelne Seiten der organischen Thätigkeit überwiegend vermitteln. Aber auf dem Punkte, wo die organische Gestalt die Höhe ihrer Ausbildung erreicht hat, greift das gestaltende Princip über das Individuum hinaus, und statt im Innern neue Zellen von untergeordneter Bedeutung hervorzurufen, erzeugt es Zellen, welche Träger der vollen Individualität werden und eben dadurch im Stande sind, außerhalb des Mutterorganismus ein eigenes Leben zu beginnen. Es ist offenbar, daß die Fortpflanzung der Organismen aus ihrer Fähigkeit entspringt, ihre Gestalt nach einem eigenen Gesetze zu entwickeln. Aber dieses gestaltende Princip reicht zur Erklärung der Fortpflanzung nicht ganz hin; es ist nur im Stande, die Gestalt desselben Individuums in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen zu bestimmen; neue Eigenschaften vermag sie ihrem Produkte keineswegs aufzudrücken. Daher wirkt bei der Entstehung jedes neuen organischen Individuums die schöpferische Macht Gottes wesentlich ein. Jede solche Entstehung ist eine Erschaffung; aber diese geschieht nicht aus dem Nichts, sondern durch Anschluß an ein vorhandenes Individuum, welches die Grundlage für den Stoff und die Gestalt des neuen Individuums hergibt; daß aus dieser Grundlage wirklich ein neues, eigenthümlich combinirtes Individuum hervorgeht, wird durch den schöpferischen Einfluß Gottes bedingt.

Digitized by Google

Indem der Mutterorganismus die Grundlage für die Gestalt des neuen Individuums hergibt, erzeugt er zwar kein völlig ihm selbst gleiches Produkt; aber der neue Organismus theilt doch die wesentlichen Züge der Gestalt mit dem Mutterorganismus. Auf diese Weise wird das neue, die Gestalt bestimmende Princip der Organismen auch zum inneren Bande der organischen Species. Jenes Princip folgt nicht als einfaches Resultat aus den allgemeinen Naturgesetzen; und ebenso hat der Begriff der Species seinen Grund nur in dem neuen Gesetze, welches die Gestalt und eben damit die ganze Individualität der organischen Köper beherrscht. Umgekehrt aber läßt sich nicht behaupten, daß im organischen Reiche der Begriff der Species gleich dem Lebensprincipe etwas bewirke; er ist vielmehr nur eine Abstraktion, nur der gemeinsame Ausdruck für alle organischen Individuen, welche durch wesentliche Eigenschaften mit einander übereinstimmen, welche daher durch das Band der gemeinsamen Abstammung mit einander verbunden sind oder doch verbunden sein könnten. Die Species ist die abstrakte Einheit aller dieser Individuen, wie der Begriff der Individualität bei den Gestirnen auch erst als abstrakte Einheit die einzelnen, ungleichartigen Theile verbindet. Nur in einigen beschränkten Kreisen des Thierreiches, bei den Kunsttrieben der Thiere greift der Begriff der Species als ein neues, wirksames Princip in den Gang der organischen Processe ein.

Die göttliche Macht und Weisheit zeigte sich schon bei den Individuen überhaupt (I. 475) in der inneren Anordnung der Theile, welche während der ganzen Existenz der Individuen ihren Stoffwechsel, ihre Bewegung und ihre fortschreitende Entwicklung unterstützt und erhält. Bei den Organismen äußert sich diese innere Harmonie in neuer Weise. Einmal tritt sie auch hier in dem gesetzmäßigen Zusammenwirken aller Theile zu der organischen Stoffbildung und Bewegung hervor. Aber zu dieser Seite der Existenz, welche die Organismen mit den Gestirnen gemein haben, kommt ja noch eine andere, die Seite

Digitized by Google

der gestaltenden Thätigkeit. Wenn die organische Gestalt nicht blos das Resultat der übrigen organischen Vorgänge, sondern durch ein eigenes Gesetz bestimmt ist, so unterliegen nicht mehr alle Vorgänge im Individuum denselben Gesetzen; ein anderes Gesetz bestimmt die chemischen und physikalischen Processe, ein anderes die Gestalt der Organismen. Daß diese verschiedenen Gesetze mit einander im innigsten Einklange sich befinden, daß sie von Anfang an die organische Individualität viel weniger stören als tragen und erhöhen, ist wiederum nur aus der göttlichen Macht und Weisheit zu erklären, welche die organischen Individuen harmonisch erschaffen hat und in dieser Harmonie während der ganzen Dauer ihrer Existenz erhält. Die Gestalt ist nicht das Resultat der übrigen, chemisch-physikalischen Vorgänge, und eben so wenig sind diese einfach aus der ersteren abzuleiten; beide Seiten der organischen Thätigkeit verfolgen ihren eigenen Weg; aber diese Wege laufen so nahe neben einander her, verschlingen sich an so vielen Punkten, daß immer die eine Seite die andere bestimmt und mäßigt, daß aus ihrem gesetzmäßigen Ineinandergreifen eben die innere Harmonie des Organismus hervorgeht.

Wenn der Organismus eine neue, höhere Stufe der Individualität bezeichnet, so mußte auch die innere Harmonie der Individuen in ihm eine neue Seite gewinnen; eben damit offenbart sich die Weisheit und Macht des Schöpfers in der inneren Anordnung der organischen Körper auf eine neue, höhere Weise. Aber ganz derselbe Fortschritt zeigt sich, wenn man die äußeren Verhältnisse der Gestirne und der Organismen mit einander vergleicht. Dort gibt das Individuum nichts von seiner Substanz ab und nimmt keine äußeren Stoffe auf; es wächst nicht und vermag eben so wenig neue Individuen aus sich zu erzeugen; mit Einem Worte: die Individualität der Himmelskörper ist von Anfang an abgeschlossen und durch die allgemeinen Naturgesetze fest bestimmt. Aber das gestaltende Princip der Organismen macht, daß sie in die Existenz anderer Indi-

Digitized by Google

viduen bestimmend eingreifen, daß sie die Substanz des Planeten oder anderer Organismen zu ihrem Wachsthum verwenden, daß sie zur Entstehung neuer Individuen wesentlich mitwirken. Die Harmonie eines Gestirnes mit anderen Gestirnen ist daher eine feste, in allgemeinen Gesetzen begründete. Daß hingegen die Organismen trotz des Principes der Selbstbestimmung, welches in ihrer gestaltenden Thätigkeit zum ersten Male auftritt, nicht störend in die allgemeine Ordnung der Schöpfung eingreifen, dieses kann nur aus einer höheren Harmonie erklärt werden, welche den organischen Geschöpfen eine gewisse Selbständigkeit innerhalb der allgemeinen Naturgesetze verleiht. Wir haben schon am Schlusse des vorigen Abschnittes (I. 476) darauf hingewiesen, wie in dieser Stellung der Organismen nicht blos die Macht und Weisheit, sondern vornehmlich auch die Güte Gottes im reichsten Maaße sich offenbart.

Die Gesammtheit der Vorgänge, welche zwischen der Entstehung und dem Tode eines Organismus in der Mitte liegt, wird als das Leben des organischen Individuums bezeichnet. Wir können es jetzt als erwiesen betrachten, daß die Existenzweise der Organismen gegenüber von der Existenzweise der Planeten und der Himmelskörper überhaupt eine höhere Stufe der Schöpfung darstellt, und wenn wir für die erstere den Namen Leben wählen, so ergibt sich von selbst, daß sich dann nicht von einem Leben der Himmelskörper sprechen läßt. Es ist auch hier von größter Wichtigkeit, nicht die verschiedenen Gebiete der Natur zu vermischen, sondern jedes einzelne so abzugränzen und zu bestimmen, daß seine Charakteristik nach keiner Seite hin eine Verwechslung zuläßt. In diesem Sinne ist also Leben nur der Ausdruck für die eigenthümliche Existenzweise der organischen Körper; es umfaßt als ein höherer Begriff die reiche Fülle von Gesetzen, Vorgängen und Gestalten, welche an der Oberfläche unseres Planeten die menschliche Seele entzücken und begeistern. Der Grund alles organischen Lebens liegt nicht in dem Lebendigen selbst, sondern außer und über der Natur in

Digitized by Google

dem schaffenden und erhaltenden Gott. Eben darum kann auch von keiner Lebenskraft gesprochen werden; denn durch diese würde der volle Grund der jetzigen Existenz der organischen Körper in diese selbst gesetzt werden. Aber so wie Gott bei der Schöpfung der Welt überhaupt nicht in diese ganz als Weltseele eingegangen ist, ebenso hat er die organische Welt nicht auf ihre eigene Macht gestellt, sondern ihr seine unendliche Macht und Weisheit als den Grund ihrer Entstehung und Fortdauer gegeben und bewahrt.

Digitized by Google

Fünfter Abschnitt.

Die Pflanze.

Schauet die Lilien auf dem Felde, wie sie wachsen: sie arbeiten nicht, auch spinnen sie nicht. Ich sage euch, daß auch Salomo in aller seiner Herrlichkeit nicht bekleidet gewesen ist, als derselben Eins.

Bergpredigt.

Der Mensch hat seit jeher an der Erdoberfläche Pflanzen und Thiere unterschieden. Mit den letzteren wußte er sich in Bezug auf seine eigene Organisation näher verwandt; aber zu den Pflanzen fühlte er sich oft durch innere Stimmungen mehr hingezogen. Dem unruhigen Treiben der Thiere gegenüber befriedigte ihn oft mehr das stille, gestaltende und stoffbildende Leben des Pflanzenreiches. Diese natürlichen Eindrücke bezeichnen schon das Verhältniß, welches die Wissenschaft zwischen Pflanzen und Thieren aufgestellt hat. Ueberdieß aber geht aus ihnen die Stellung hervor, welche die Pflanzen im religiösen Bewußtsein der Völker einnahmen. Zur Eigenschaft eines göttlichen Wesens gehört vor Allem höhere Macht. Wo daher die Völker nicht in plumpem Fetischismus jedes äußere Ding, das in irgend einer Beziehung zu ihnen stand, einen Baum, ein Kraut oder einen Stein, zum Götzen erhoben, sondern nach

Digitized by Google

einer gewissen Uebereinstimmung zwischen den Bildern und den Eigenschaften ihrer Gottheiten verlangten, da konnten Pflanzen nicht göttliche Verehrung genießen. In allen ausgebildeteren Religionen des Heidenthums wurden daher nur Wälder als Aufenthaltsorte der Götter, gewisse Blüthen, als den Göttern besonders werth, für heilig geachtet; so galt im alten Deutschland die Seerose, im alten Aegypten und Indien die Lotusblume als eine vorzüglich heilige Pflanze.

Diese Heiligkeit einzelner Pflanzen stand in genauestem Zusammenhange mit den geheimen Kräften, welche man den Pflanzen in Bezug auf Glück und Gesundheit der Menschen beilegte. Wie die Pflanze ruhig und geräuschlos ihre Gestalt entwickelt und Stoffe bereitet, welche zur Ernährung des Menschen und der Thiere dienen, so sollten viele derselben auch die Macht haben, langsam aber von Grund aus das innerste Leben der Menschen zu ergreifen und umzuwandeln. Daher wurden Pflanzen immer als Arzneien und Zaubermittel angewendet. Diese geheime Kraft der Pflanzen spielt jetzt noch im Volke und bei Gebildeten eine bedeutende Rolle. Die wissenschaftliche Erfahrung hat Pflanzenstoffe als wirksame Arzneimittel anerkannt; aber es wohnt in vielen Geistern ein Trieb, solche Arzneiwirkungen nicht auf ihre klare und bestimmte Ursache zurückzuführen, sondern aus wunderbaren, nie zu ergründenden Mächten der Natur abzuleiten. Dieses Zauberhafte muß aber aus der ernsten Naturbetrachtung verschwinden; wie in der Natur für uns keine Götter mehr wirken, so müssen auch die wunderbaren Pflanzenkräfte sich in das weite und heitere Reich der Poesie zurückziehen.

Wir halten hier die Pflanze zunächst als das organische Wesen fest, in welchem geräuschlos Form aus Form sich entwickelt und Stoffe gebildet werden, die zur Ernährung des Thieres nothwendig sind.

---

1) Pflanze und Thier. Wenn die beiden Hälften des organischen Reiches zu ihrem Ausgangspunkt denselben Grundtypus, nämlich die Zelle haben, so muß sich ihre Verschiedenheit zunächst aus der Weise ergeben, wie die Eigenschaften der Zelle in beiden Gebieten abgeändert werden. Es gelingt uns vielleicht, diese Verschiedenheit in wenigen Zügen deutlich zu machen.

Niemand, der eine Pflanze unter dem Mikroskope untersucht, zweifelt daran, daß sie aus kleinen, rings geschlossenen, von Flüssigkeit erfüllten Schläuchen, d. h. aus Zellen zusammengesetzt sei. Aber es hat lange bedurft, um darzuthun, daß auch das thierische Ei ursprünglich nur eine Zelle darstellt und daß alle inneren Theile des Thierkörpers nur durch eine innerliche Zellenvermehrung entstehen. Die Formelemente oder Gewebe des ausgebildeten Thieres sind der Zelle zu unähnlich, um einfach als Entwicklungen von Zellen erkannt zu werden; bei manchen derselben, wie bei den Fasern des Nerven- und Muskelsystemes, ist es auch jetzt noch nicht gelungen, den Zusammenhang mit der ursprünglichen Zelle genau nachzuweisen.

Wenn wir nun in Betracht ziehen, daß die Gestalt eines Organismus oder irgend eines seiner Theile zwar nicht das Resultat seiner inneren Verhältnisse ist, aber doch zu diesen immer in einer sehr bestimmten Beziehung steht, so ist der Schluß ganz natürlich, daß der eigenthümlichen Metamorphose der thierischen Zelle auch eine Veränderung ihrer Thätigkeit, ihres Stoffwechsels und ihrer Bewegungen entspreche. Diese Veränderung ist auch in der That vorhanden. Während nämlich die Pflanzenzellen mit der ursprünglichen Gestalt auch alle Thätigkeiten der Zelle mit wenigen Modifikationen beibehalten haben, ist im thierischen Körper eine **Vertheilung der Arbeit** unter einzelne Zellengruppen erfolgt.

Es kann nämlich kein Zweifel sein, daß, wie es vom Organismus überhaupt früher gezeigt wurde, auch in der Pflanze die einzelnen Zellen bald der einen bald der andern Seite der

Digitized by Google

Lebensthätigkeit überwiegend dienen; aber in verschiedenen Altern und unter wechselnden äußeren Umständen können doch die verschiedensten Pflanzenzellen auch sehr verschiedene Funktionen vermitteln. Wir sprechen hier nicht einmal von niederen Pflanzen, wo diese Vermischung der Funktionen besonders deutlich ist; sondern wir führen gerade Beispiele aus den höheren Gewächsen an. So dienen die langgestreckten Zellen in dem Holze unserer Bäume anfänglich, so lange sie jung sind, vorzüglich zur Leitung des aufsteigenden Saftes; später aber, wenn ihre Wandungen dicker werden, nehmen sie viel weniger Saft auf und dienen mehr nur auf mechanische Weise, um dem Stamme seine Festigkeit zu geben. So wird die Schlafbewegung der zusammengesetzten Blätter unserer Robinien hauptsächlich durch die gelenkartigen Anschwellungen ihrer Blattstiele ausgeführt; aber die Zellen, aus denen diese Wülste vorzüglich bestehen, dienen nicht ausschließlich der Bewegung, sondern sind überdieß durch großen Säftereichthum ausgezeichnet. So wird endlich das Stärkmehl, einer der wichtigsten Pflanzenstoffe, nicht ausschließlich in besonderen Organen der Pflanze abgelagert; sondern Stärkmehl kann sich eben so gut in Wurzeln und Knollen, als in den Stämmen und Samen der Pflanzen ansammeln.

Die Vertheilung der Arbeit zeigt sich in den thierischen Zellen darin, daß jede unter den verschiedensten Umständen nur durch Eine Art von organischer Thätigkeit zur Harmonie des ganzen Organismus beiträgt. So übernehmen einzelne Zellengruppen, welche sich zu Muskelgewebe umwandeln, nur die Bewegung der Thiere; so vermittelt die Blutflüssigkeit hauptsächlich den thierischen Stoffwechsel; so lagern sich thierische Fette immer in besonderen Zellen, in den sogenannten Fettzellen ab. Die Thätigkeiten dieser einzelnen Zellengruppen entsprechen den hauptsächlichen Seiten des organischen Lebens, und ihre Gestalten sind meistens so beschaffen, daß eine Beziehung derselben zu der Art der Thätigkeit deutlich hervortritt. Man bezeichnet nun diese thierischen Zellengruppen, welche durch eigenthümliche

6*

Digitized by Google

Form und Thätigkeit ausgezeichnet sind, mit dem Namen der thierischen Systeme; dahin gehören Nervensystem, Muskelsystem, Gefäßsystem, Drüsensystem. In diesem Sinne kommen organische Systeme nur den Thieren zu.

Es ist nothwendig, hier die thierischen Systeme sogleich in ihrer wesentlichen Bedeutung zu entwickeln. Denn die höhere Stufe der Individualität, die Beseeltheit, welche die Thiere vor den Pflanzen auszeichnet, hängt mit dieser inneren Gruppirung der Formelemente und der Thätigkeiten aufs innigste zusammen; und nicht weniger erklärt sich das verschiedene Verhältniß der Pflanzen und Thiere zum Planeten hauptsächlich aus der verschiedenen Richtung, welche in beiden die allgemeinen organischen Thätigkeiten genommen haben.

Nach der Uebersicht, welche früher von den Vorgängen in der organischen Zelle gegeben worden ist, muß vor Allem die chemische und die physikalische Seite des organischen Lebens unterschieden werden. Zu jener gehört der Stoffwechsel, die Aufnahme, Aneignung und Wiederausscheidung von Substanz, zu dieser vorzüglich die eigenthümliche Bewegung der organischen Körper. Die Theilung der Arbeit, welche den thierischen Körper auszeichnet, verlangt, daß beide Seiten der Thätigkeit besonderen Zellengruppen übertragen werden. Außerdem sind aber die organischen Processe auch danach zu unterscheiden, ob sie vornehmlich die Wechselwirkung mit der Außenwelt oder die innere Thätigkeit des Organismus betreffen. Zwischen der Aufnahme und Ausscheidung von Stoff liegt ja im Organismus die vorübergehende Aneignung der aufgenommenen Substanzen. Und auf dieselbe Weise geht der äußeren Bewegung immer ein innerer Proceß vorher, durch welchen die Eindrücke der äußeren physikalischen Agentien, wie des Lichtes, des Stoßes oder Druckes, erst in Reize zur Bewegung gleichsam übersetzt werden. Wie in der Pflanze eine und dieselbe Zelle dem Stoffwechsel und der Bewegung dienen kann, so scheinen hier auch die einzelnen Stadien der Processe nicht an verschieden entwickelte

Digitized by Google

Zellen vertheilt zu sein; die Wurzelzelle, welche Stoff aufnimmt, scheint auch sogleich seine Aneignung zu beginnen; die angeschwollenen Gelenke am Blattstiele der Mimosa sind eben so wohl im Stande, äußere, mechanische Reize aufzunehmen, als sogleich die entsprechenden Bewegungen auszuführen. Beim Thiere hingegen unterscheiden sich die Zellengruppen auch nach den hauptsächlichen Stadien der organischen Processe. Es ergibt sich aus dem Zusammenwirken dieser zweierlei Momente folgende Eintheilung der thierischen Systeme.

Die Umwandlung der aufgenommenen Nahrungsstoffe in die Substanz der thierischen Gewebe geschieht nicht unmittelbar, sondern durch Vermittlung jener Flüssigkeit, welche meistens als Blut bezeichnet wird. Ebenso gehen die verbrauchten Stoffe der thierischen Gewebe nicht unmittelbar in die Absonderungsorgane, sondern zuvor wieder ins Blut über. Das Blut vermittelt demnach überall den inneren Stoffwechsel, und zwar eben so wohl die Stoffaneignung als den Beginn der Stoffausscheidung. Auf der Seite des Stoffwechsels bildet das Blutsystem das centrale, dominirende System. Die mannigfach verzweigten, theils starken theils überaus dünnen Blutströmchen gehen zu allen Organen des Körpers, um ihnen neue Substanz zu bringen und dagegen ihre alte, verbrauchte Substanz aufzunehmen; insbesondere aber verbreiten sie sich innerhalb der Häute, welche die äußere Körperoberfläche überziehen, und saugen hier unmittelbar die äußeren, tropfbarflüssigen Nahrungsstoffe auf. Die Stoffaufnahme geschieht also ohne weitere Apparate, sondern geradezu durch Vermittlung der äußeren thierischen Häute. Die Stoffausscheidung hingegen bedarf zu ihrer Vollendung eigenthümliche Zellen, nämlich die Formelemente des Drüsensystems. So befinden sich die Bestandtheile der Galle schon im Blute; aber die Leber ist doch nöthig, um sie in der eigenthümlichen Verbindung, welche als Galle bekannt ist, auszusondern. Die andere, physikalische Seite des organischen Lebens verhält sich ganz ähnlich. Hier gehen vom Nervensystem alle

Digitized by Google

Motive zu Bewegungen aus; und ebenso laufen im Nervensystem alle Eindrücke von physikalischen Agentien, von Licht, Schall, Wärme, Druck oder Stoß, zusammen. Die Aufnahme dieser Eindrücke geschieht durch die allgemeinen Bedeckungen des thierischen Körpers; aber die Bewegungen, welche das Nervensystem anregt, geschehen durch ein eigenes System, durch das der Muskel. Als centrale, dominirende Systeme müssen also das Blutsystem und das Nervensystem, als peripherische, untergeordnete Systeme das Drüsensystem, das Muskelsystem und das System der allgemeinen Bedeckungen unterschieden werden.

Diese Vertheilung der einzelnen Seiten der organischen Thätigkeit an besondere Systeme fehlt nur bei den niedersten Thieren, wo überhaupt aus der allgemeinen Körpersubstanz die einzelnen Gewebe noch nicht mit gehöriger Schärfe hervorgetreten sind. Aber von allen Systemen sind es vorzüglich die beiden centralen, welche die Thiere vor den Pflanzen auszeichnen; Blut- und Nervensystem vermitteln die Centralisation beider Seiten der Lebensthätigkeit. Und von diesen beiden dient das Nervensystem wieder ganz besonders zur Charakteristik der Thiere. Auch Pflanzen sind in vielen Fällen, die wir früher schon aufzählten, für die Eindrücke von Licht, Wärme, Elektricität, äußeren Stoß empfänglich; aber diese Eindrücke geschehen nur auf vereinzelte Zellengruppen, und laufen insbesondere in keinen centralen Organen zusammen. Ebenso bewegen sich öfters einzelne Zellengruppen der Pflanzen; aber auch der Reiz zu diesen Bewegungen beschränkt sich ganz auf einzelne Punkte, und geht nicht von einem Mittelpunkte aus, welcher noch mehrere oder alle beweglichen Zellen in Thätigkeit zu setzen vermöchte. Das Nervensystem der Thiere hingegen vermittelt ebenso die Sammlung aller äußeren, physikalischen Eindrücke in Einem Centralorgane, als die Erregung aller Bewegungswerkzeuge von diesem Einen Centralorgane aus. Eben damit wird das Nervensystem und vorzüglich seine höchste Entwicklung, das Gehirn, zum Orte der Aufnahme der äußeren Eindrücke ins Bewußt-

Digitized by Google

sein und der Erregung von Bewegungen durch den Willen des Thieres; so gestaltet sich die Empfänglichkeit für Licht, Wärme und andere physikalische Eindrücke zur bewußten Sinnesthätigkeit, die Bewegungsfähigkeit zur willkührlichen Lokomotion der Thiere. Der Mittelpunkt aber, in welchem Sinnesthätigkeit und Lokomotion sich berühren und bestimmen, kann hier kurz als die Seele des Thieres bezeichnet werden.

Der Pflanze fehlt die Empfänglichkeit für äußere Reize und die Bewegungsfähigkeit keineswegs; aber sie verhält sich nicht als Ein Ganzes zu den Eindrücken und Bewegungen, und eben damit entbehrt sie Sinnesthätigkeit und Lokomotion; sie entbehrt überdieß die Seelenthätigkeit, welche beim Thiere nur die Einheit des ganzen Nervenlebens darstellt. Im einzelnen Falle ist es bisweilen schwer, Thier und Pflanze von einander zu unterscheiden; so sind die einfachsten Infusorien einigen niederen Wasserpflanzen, wie den Bacillarien und Diatomeen, in Bezug auf das äußere Ansehen und die äußeren Bewegungen sehr ähnlich. Aber in diesen Fällen scheint, wie Siebold bemerkt hat, gerade die willkührliche Bewegung immer als ein besonders charakteristisches Kennzeichen der Thiere aufzutreten; sie läßt sich vielleicht immer von der automatischen Ortsbewegung der niederen Pflanzen deutlich unterscheiden. So viel darf jedenfalls als sicher angenommen werden, daß es nicht, wie man noch in der letzten Zeit behauptete, Uebergänge zwischen Pflanzen und Thieren gibt, daß ein Organismus nicht bald als Pflanze, bald als Thier auftreten, daß aus der Pflanze kein Thier und aus dem Thier keine Pflanze entspringen kann. Pflanzenreich und Thierreich sind zwei streng geschiedene Abtheilungen des großen organischen Reiches; wo man in einzelnen, jetzt sehr seltenen Fällen ihre Gränze noch nicht zu ziehen vermochte, da liegt dieses nicht in der Sache, sondern in der Unvollkommenheit unserer Kennzeichen und Untersuchungsmethoden.

Diese Verschiedenheit zeigt sich auch überaus deutlich in

den chemischen Verhältnissen der Pflanzen und Thiere. Wir haben das Wichtigste hievon früher, bei der Betrachtung unseres Planeten (I. 400 ff.) erwähnt; aber es ist nöthig, hier noch einmal an jene Punkte anzuknüpfen. Wenn die Thiere nicht im Stande sind, aus unorganischer Nahrung organische Stoffe zu bilden, wenn diese Aneignung der planetarischen Grundstoffe nur durch die Pflanzen geschieht, und die Pflanzensubstanzen dann als Nahrungsstoffe in den thierischen Körper übergehen, so ist offenbar eben die Ueberführung unorganischer Grundstoffe ins organische Reich eine der wichtigsten Aufgaben der Pflanzenwelt, eine Aufgabe, von welcher die Thierwelt nichts Aehnliches aufzuweisen hat. Umgekehrt entwickelt sich beim Thiere die Empfänglichkeit für Licht, Schall, Wärme und äußeren Stoß, indem sie als Sinnesthätigkeit auftritt, zu einer sehr bedeutenden Höhe; sie knüpft sich nicht mehr blos an einzelne Zellengruppen, sondern die ganze Oberfläche des Thieres dient vollkommener oder unvollkommener zur Aufnahme von Sinneseindrücken. So kommt es, daß die Pflanze vorzüglich die Organe des Stoffwechsels, Wurzel und Blätter, das Thier vorzüglich die Organe der Sinnesthätigkeit, die eigentlichen Sinneswerkzeuge und die Extremitäten nach außen kehrt.

In dieser Beziehung erscheint die Pflanze als die Voraussetzung des Thieres, als das Werkzeug zur Bereitung der Stoffe, welche das Thier für seine Existenz nothwendig bedarf. Es war natürlich, daß man aus diesem Verhältnisse den Schluß zog, auch in den ersten Perioden des organischen Lebens, während der silurischen Zeit (I. 439), müssen Pflanzen vor Thieren existirt haben, um diesen ihre Nahrungsstoffe zu bereiten. Aus geologischen Thatsachen läßt sich diese Frage noch keineswegs beantworten; aber aus allgemeinen Principien darf allerdings als wahrscheinlich angenommen werden, daß Pflanzen kurz vor den Thieren erschaffen worden sind, und daß sie gleich im Anfange dieselbe Funktion übernommen haben, durch welche sie noch jetzt als eine Voraussetzung des Thierreiches erscheinen.

Digitized by Google

Indeß ist die Beziehung der Pflanzen zu den Thieren keine so einseitige. Es bedarf zur ununterbrochenen Ernährung der Pflanzen auch eine Wiederzersetzung der durch die Pflanzen gebildeten Stoffe. Kohlensäure und Ammoniak würden sich den Pflanzen nicht in gehöriger Menge darbieten können, wenn sie nicht immer wieder durch die Zerlegung organischer Substanzen entstünden. Diese Zerlegung geschieht aber kaum durch Ausscheidungen der Pflanzen, mehr schon durch Verwesung abgestorbener Vegetabilien, vorzüglich aber durch die Verwesung und durch die Absonderungen des thierischen Körpers, so durch Athmung und Harnbildung. Auf diese Weise wird das thierische Leben selbst wieder zu einer Nahrungsquelle für das Pflanzenleben, und wenn daher auch anfänglich Pflanzen ohne Thiere auf der Erde vorhanden waren, so mußten die letzteren doch bald nachfolgen, um den Kreislauf der Stoffe an der Oberfläche unseres Planeten abzuschließen.

Thiere und Pflanzen bedürfen sich also wechselsweise; sie verhalten sich nicht zu einander, wie Organismus und Planet; denn Pflanzenreich und Thierreich setzen sich in Bezug auf ihre stoffliche Existenz gegenseitig voraus. Nur so können beide Reiche gut verstanden werden, daß man sie nicht in eine Linie einfügt, welche mit der niedersten Pflanze beginnen und mit dem höchsten Thiere endigen würde; sondern Pflanzen und Thiere sind nichts, als parallele Unterabtheilungen des großen organischen Reiches. Im Pflanzenreiche erfolgt die Bildung, im Thierreiche vorzüglich die Zersetzung der organischen Substanzen. Die Pflanze kehrt eben damit die Organe für Stoffaufnahme und Stoffbereitung, Wurzel und Blätter, nach außen; die äußeren Organe der Thiere dienen theils der Sinnesthätigkeit, theils der willkührlichen Bewegung, welche in Bezug auf die Größe ihrer Energie mit dem Grade der inneren Stoffzersetzung und besonders der Athmung in einem bestimmten Verhältnisse zu stehen scheint. Es folgt hieraus von selbst, daß die charakteristische Aufgabe und Thätigkeit der Pflanzen die Bereitung or-

Digitized by Google

ganischer Stoffe ist; und dazu kommt, wie bei jedem Organismus, die Sorge für die Erhaltung der Species durch Erzeugung eines neuen organischen Individuums. Empfänglichkeit für physikalische Reize und Bewegungsfähigkeit treten eben damit völlig in den Hintergrund.

Aus diesen Gesichtspunkten ergibt sich die ganze Anordnung des pflanzlichen Organismus.

---

2) **Die allgemeinen Verhältnisse des Pflanzenlebens.** Mit der willkührlichen Bewegung entbehrt die Pflanze alle Mittel, äußere Schädlichkeiten von ihrer Oberfläche abzuhalten oder sich zuträglicher äußerer Gegenstände, wie z. B. der Nahrungsstoffe, zu bemächtigen. Es hängt nur von den umgebenden Dingen ab, ob sie einer Pflanze sich nähern, ob sie ihr schaden oder nützen werden. Die Pflanze bedarf daher bei Weitem in den meisten Fällen keine Verschiebbarkeit, keine, wenn auch nur passive Ortsbewegung. Daraus erklärt es sich, daß die große Mehrzahl der Pflanzen am Erdboden oder auf anderen festen Körpern durch Wurzeln befestigt ist. Diese Befestigung gewährt den Pflanzen vielfachen Schutz gegen äußere Schädlichkeiten, vorzüglich gegen die Bewegungen des luftartigen oder des wäßrigen Mediums, in welchem die Pflanzen leben. Nur wenige Wasserpflanzen, und zwar die niedersten, entbehren diesen Zusammenhang mit einer festen Unterlage; dahin gehören die Conserven, welchen die Wurzeln ganz fehlen, dahin aus einer höheren Ordnung die Wasserlinse, welche ihre büschelförmigen Wurzeln frei in das Wasser hinabhängt.

Bei niederen Pflanzen, wie bei den Algen und Flechten, dienen die Wurzeln nur als Haftorgane; so werden manche Flechten durch ihre Haftfasern auf metallenen Unterlagen festgehalten, aus welchen sie keine Spur von Nahrung aufnehmen können. Aber schon bei den Moosen und noch viel mehr bei der großen Zahl der höheren Pflanzen wird die Wurzel zu einem äußerst wichtigen Organ für die Aufnahme der Nahrung.

Digitized by Google

Namentlich sind es die höheren Landpflanzen, bei welchen die Auffaugung der tropfbarflüssigen Nahrungsstoffe ganz der Wurzel übertragen ist. Hieran knüpft sich bei der Mehrzahl der Pflanzen der durchgreifende Gegensatz zwischen unterirdischem und oberirdischem Theil, zwischen Wurzel einerseits, Stengel und Blättern andererseits. Durch die Wurzel wird die Aufnahme tropfbarflüssiger, durch die Blätter die Aufnahme gasförmiger Stoffe vermittelt. Wir versuchen vor Allem zu zeigen, in welcher Weise diese beiden Abschnitte des pflanzlichen Organismus auf den Stoffwechsel einwirken. Denn wie das Leben der Pflanze überhaupt auf Stoffbereitung hinzielt, so muß auch der Gegensatz zwischen dem oberirdischen und unterirdischen Theile der Pflanze zunächst zur Bildung der organischen Substanzen in Beziehung stehen.

Wo die Wurzel also nicht blos zur Befestigung der Pflanze dient, sondern zugleich als Organ für die Aufnahme tropfbarflüssiger Nahrung der übrigen Pflanze gegenübertritt, da beginnt innerhalb der Wurzel ein Saftstrom, welcher sich nach oben durch Stengel und Blätter fortsetzt. Der Saft, welcher im Frühjahr durch das Holz unserer Bäume in bedeutender Menge emporsteigt, kommt, wenigstens theilweise, aus der Wurzel; er legt einen bedeutenden Weg zurück, indem er von den aufsaugenden Wurzelspitzen durch die Wurzeläste, durch Stengel und Zweige bis zu den Blättern gelangt. Auf diesem Wege unterliegt er einer fortdauernden chemischen Veränderung, und es scheint, daß er erst durch seine Umwandlung in den Blättern diejenige Beschaffenheit erhält, welche ihn wirklich zur Bildung neuer Zellen, also zur Vermittlung des Wachsthumes befähigt. Die Flüssigkeit, welche aus dem Boden in die Wurzelzellen der Pflanze aufgenommen wird, enthält sehr viel Wasser und überdieß besonders Kohlensäure und Ammoniak. Die beiden letzteren werden fast durchaus zur Ernährung der Pflanze verwendet; die Elemente des Wassers aber dienen nur theilweise zur Bildung neuer organischer Substanz; vieles Wasser ist hingegen

Digitized by Google

nur als Auflösungsmittel, als Vehikel in die Pflanze eingedrungen (I. 400). Ein Theil dieses überflüssigen Wassers wird nun vor Allem an der Oberfläche der oberirdischen Pflanzentheile und besonders der Blätter ausgeschieden; es geht in Dunstform weg und nimmt nur sehr kleine Mengen organischer Substanzen mit sich. So wird der Zellensaft dichter, concentrirter, geigneter zur Bildung von neuen, festen Theilen.

Aber diese physikalische Veränderung ist, wie wir schon früher (I. 401) zeigten, nicht die einzige, welche der Zellensaft in den oberirdischen Pflanzentheilen erleidet. Alle grünen Pflanzentheile, sowohl die Stengel als insbesondere die Blätter, nehmen unter Einwirkung des Sonnenlichtes aus der Atmosphäre Kohlensäure auf und hauchen an ihrer Stelle Sauerstoffgas aus. Dieser Gaswechsel steht mit der grünen Farbe der Pflanzen in genauem Zusammenhange, aber ohne daß sich bis jetzt entscheiden ließe, ob der Gaswechsel oder die Bildung des grünen Farbstoffes als die Ursache der andern Erscheinung angesehen werden muß, oder ob beide Processe von einer dritten Ursache abhängig sind. Was aber die Aufnahme der Kohlensäure betrifft, so scheint diese keine andere Bedeutung zu haben, als die Aufsaugung von kohlensäurehaltigem Wasser, welche an der Oberfläche der Wurzel geschieht. Die Athmung der Thiere, die Verbrennungs- und Verwesungsprocesse bringen kohlensaures Gas sowohl in die Atmosphäre als in den Erdboden. Aus dem letzteren gelangt die Kohlensäure durch Vermittlung von tropfbarflüssigem Wasser in die Wurzel; aus der Athmosphäre geht sie unmittelbar und als Gas in die grünen Theile der Pflanze über. Die Kohlensäure gehört unter die vornehmsten Nahrungstoffe der Vegetabilien; an dieser Seite der Ernährung nimmt also die oberirdische Pflanze so gut als die unterirdische Theil.

Wenn demnach die Aufnahme von Kohlensäure für die grünen, oberirdischen Pflanzentheile keine Auszeichnung gegenüber von der Wurzel begründet, so verhält sich dieses ganz anders mit dem Sauerstoffgas, welches die grünen Pflanzen-

Digitized by Google

theile unter der Einwirkung des Sonnenlichtes aushauchen. Dieser Sauerstoff scheint keineswegs durch die Zersetzung der kurz vorher aufgesaugten Kohlensäure in den grünen Theilen selbst zu entstehen; sondern er ist ein Produkt des ganzen pflanzlichen Stoffwechsels, und zwar vorzüglich ein Nebenprodukt bei der Entstehung der stickstofflosen, stärkmehlartigen Pflanzensubstanzen. Wenn man nämlich, was alle Thatsachen wahrscheinlich machen, annimmt, Kohlensäure und Wasser seien die Nahrungsstoffe, aus deren Elementen die Pflanze ihre stickstofflosen Bestandtheile zusammensetzt, so lautet die Formel der Kohlensäure CO^2, d. h. Ein Aequivalent Kohlenstoff mit zwei Aequivalenten Sauerstoff, und die Formel des Wassers HO, d. h. gleich viele Aequivalente von Wasserstoff und Sauerstoff. Addirt man diese Zahlen zusammen, so ergeben sich $C, H, 3O$, Ein Aequivalent Kohlenstoff, Ein Wasserstoff und drei Sauerstoff. Es muß nun dahingestellt bleiben, auf welche Weise und durch welche Zwischenstufen die Pflanze aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff ihre stickstofflosen Bestandtheile bildet, ob insbesondere die vegetabilischen Säuren sich zu Dextrin, Zucker und Stärkmehl als vorbereitende Stufen verhalten. Aber wenn man die Endpunkte des Processes, auf der einen Seite Kohlensäure und Wasser, auf der andern z. B. Stärkmehl ins Auge faßt, so läßt sich doch die allgemeine chemische Bedeutung des Vorganges nicht verkennen.

Die aufgenommene Flüssigkeit enthält die öfters genannten drei Elemente im Verhältnisse von C, H und $3O$. Die Formel des Stärkmehls aber lautet $C^{12}H^{10}O^{10}$, d. h. Wasserstoff und Sauerstoff mit gleichen Aequivalentzahlen oder in demselben Verhältnisse, in welchem sie Wasser bilden, und außerdem noch Kohlenstoff. Man darf daher sich denken, im Stärkmehle sei *Kohlenstoff* mit Wasser, C mit HO und nicht, wie in der aufgenommenen Nahrungsflüssigkeit, *Kohlensäure* mit Wasser, CO^2 mit HO, enthalten. Nur darf hiebei nicht vergessen werden, daß die Nahrungsflüssigkeit blos ein Gemenge von Koh-

Digitized by Google

lensäure und Wasser, Stärkmehl aber eine ternäre chemische Verbindung ist, in welcher man nur ganz hypothetisch Kohlenstoff und Wasser annehmen darf. So viel bleibt aber unter allen Umständen sicher, daß, wenn aus Wasser und Kohlensäure Stärkmehl entstehen soll, eine ziemliche Menge des aufgenommenen Sauerstoffes wieder ausgeschieden werden muß. Diese Ausscheidung geschieht wahrscheinlich nicht direkt aus der Kohlensäure oder dem Wasser, sondern allmählig und durch Vermittlung mehrerer Zwischenstufen. Das Endresultat des Processes ist eine Desoxydation (I. 156) des Pflanzensaftes, und der Sauerstoff, welcher hiedurch frei wird, entweicht aus den grünen Pflanzentheilen unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen.

Der oberirdische Theil der Pflanzen und zunächst die grünen Blätter übernehmen hienach die Ausscheidung eines Elementes, dessen Freiwerden aus der Aneignung der vegetabilischen Nahrung unmittelbar hervorgeht. Es scheint hiemit in Widerspruch zu stehen, daß alle nichtgrünen Organe und während der Nacht auch die grünen Organe der oberirdischen Pflanze Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure dafür aushauchen. Wir haben diesen Gaswechsel schon früher mit der Verwesung verglichen (I. 403), bei welcher gleichfalls der Kohlenstoff vegetabilischer Substanzen sich mit dem Sauerstoff der Atmosphäre zu Kohlensäure verbindet; wir haben ihn dort auch mit der thierischen Athmung zusammengestellt. Wiewohl nun diese Sauerstoffaufnahme nur an der äußeren Pflanzenoberfläche zu geschehen scheint, so greift doch der Einfluß des Sauerstoffes, welcher hier aufgesaugt und zur Kohlensäurebildung verwendet wird, tiefer in das pflanzliche Leben ein. Bringt man Pflanzen in eine Luft, die gar kein Sauerstoffgas enthält, so hört bald das Wachsthum, die Beweglichkeit und Reizbarkeit der Pflanzen auf. Sauerstoff scheint daher für manche, namentlich oberflächliche Organe der Pflanze eine wesentliche Bedingung ihrer Thätigkeit zu sein. Seine Beziehung zur Pflanze ist noch keineswegs aufgeklärt; aber Alles spricht dafür, daß er sich nicht als ein-

Digitized by Google

facher Nahrungsstoff, gleich der Kohlensäure, sondern mehr als Antrieb, als Reiz für einzelne Thätigkeiten verhält. Auf diese Weise kommt der Sauerstoffaufnahme eine andere Bedeutung zu, als der Aufnahme von kohlensaurem Gas durch die oberirdischen Pflanzentheile.

Es muß als auszeichnendes Merkmal der oberirdischen Pflanzentheile betrachtet werden, daß sie Sauerstoff theils aufnehmen theils ausscheiden. Auf den ersten Blick könnten diese beiden Processe als völlig unnütz erscheinen, weil sie sich gegenseitig aufheben. Aber bei einer näheren Betrachtung wird es klar, daß die Sauerstoffaufnahme einer andern Reihe von Processen angehört als die Sauerstoffausscheidung. Die letztere steht im Zusammenhang mit der ganzen Ernährung der Pflanze; sie ist nur das Resultat des Desoxydationsprocesses, welcher die Stoffaneignung in der Pflanze begleitet; der überschüssige Sauerstoff geht hier auf ähnliche Weise weg, wie das überschüssige, von der Wurzel aufgenommene Wasser durch die Blätter abdunstet. Die Sauerstoffaufnahme scheint aber mit der Ernährung in keiner näheren Beziehung zu stehen; sie hat zunächst die Bildung und Ausscheidung von Kohlensäure zur Folge; aber außerdem treibt sie mehrere organische Processe auf eine deutliche Weise an. Es ist hier nothwendig, daran zu erinnern, daß die Stoffbereitung nicht die einzige Aufgabe ist, welche der pflanzlichen Säftemasse zukommt; die dunkleren physikalischen Processe erhalten aus den Säften nicht blos neue Stoffe, sondern auch nothwendige Antriebe. Im thierischen Körper wird dieses von Niemand bezweifelt; Jedermann gibt zu, daß der Sauerstoff, welchen das Thier im Athmungsproceß aufnimmt, nicht blos zur Ernährung des Körpers, sondern auch als Reiz für alle Processe und namentlich für die Thätigkeit des Nervensystemes dient, daß die Thiere in Luft, welche keinen Sauerstoff enthält, nicht durch Entziehung von Nahrung, sondern durch Entziehung jenes Reizes, d. h. durch Erstickung zu Grunde gehen.

Digitized by Google

Wir befinden uns hier an einem Punkte, welcher seine volle Aufklärung erst noch bedarf. Aber so viel kann schon jetzt angenommen werden, daß es in Pflanzen und Thieren eine Athmung gibt, bei welcher Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure ausgeschieden wird. Die Kohlensäure entsteht ohne Zweifel durch Verbindung des aufgenommenen Sauerstoffs mit Kohlenstoff der organischen Substanz. Zum Leben der Organismen scheint nun eine dauernde Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung zu gehören; wenn Pflanzen und Thieren kein Sauerstoff zugeführt, wenn die Kohlensäure in den organischen Säften zurückgehalten wird, so geht der Organismus durch Erstickung zu Grunde. Diese Athmung ist eben der Proceß, durch welchen die Säfte der Pflanzen und der Thiere erst diejenige Mischung erlangen, vermöge der sie zur Unterhaltung des Lebens vollständig fähig werden. Der Anfang dieser Säftebildung ist bei den Pflanzen der Moment, in welchem äußere Nahrungsstoffe in die Zellen der Pflanze aufgenommen werden. Kohlensäure dringt als Gas durch die grünen, oberirdischen Pflanzentheile, in Wasser gelöst durch die Wurzeln ein; Ammoniak scheint nur durch die Wurzeln aufgenommen zu werden; überdieß nehmen die Wurzelzellen eine große Menge von Wasser auf. Diese Stoffe sind das Material, aus welchem die Pflanze ihre Organe zu bilden vermag. Aber damit die organischen Säfte auch noch etwas mehr, als blos den Stoff der Organe enthalten, damit sie überdieß zu einem Antriebe für die Thätigkeit der Organe werden, unterliegen sie an der oberirdischen Pflanzenoberfläche noch der Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes. Dieß sind die zwei Stadien der Aufnahme äußerer Substanzen, durch welche die pflanzlichen Säfte durchgehen müssen. Der Aufnahme von Stoffen entsprechen aber verschiedene Ausscheidungen, und diese scheinen alle an den oberirdischen Theilen zu geschehen. Hier dunstet das überschüssige Wasser der Nahrungsstoffe ab; hier wird der Sauerstoff ausgehaucht, der in Folge des Ernährungsprocesses frei

wird; hier tritt Kohlensäure aus, zu deren Bildung der geathmete Sauerstoff Veranlassung gegeben hat.

Der Vorgang der pflanzlichen Säftebildung ist hiemit in seinen Grundzügen bezeichnet; es ist gezeigt, welche Rolle der unterirdische und der oberirdische Pflanzentheil in jenem Vorgange spielen. Der Gegensatz zwischen diesen beiden Theilen läßt sich am besten so ausdrücken, daß der Wurzel die Aufnahme tropfbarflüssiger Stoffe, der oberirdischen Pflanze der gasförmige Stoffwechsel, und zwar theils die Aufnahme, theils die Ausscheidung von Gasen zufällt.

Der Weg des Saftes ist blos von der Wurzel durch den Stengel bis in die Blätter mit Sicherheit bekannt. Was der Saft für Wege einschlägt, nachdem er in den Blättern wichtige Veränderungen erfahren hat, läßt sich noch nicht mit Sicherheit angeben; doch ist es nicht unwahrscheinlich, daß der Saft aus den Blättern wieder durch die Zweige und durch den Stamm hinabsteigt, um hier zur Ernährung der Organe verwendet zu werden; in den Bäumen der gemäßigten Zone geschieht dieses Hinabsteigen durch die Rinde des Stammes. An der Aufnahme und Verarbeitung von Stoffen nehmen nicht alle Organe einer Pflanze in gleichem Maaße Antheil. Im Allgemeinen ist es natürlich immer die Oberfläche, durch welche sowohl die Wurzel als die oberirdischen Theile mit der Umgebung in Wechselwirkung treten; aber außerdem erhalten auch einige Stellen dieser Oberfläche für den pflanzlichen Stoffwechsel eine besondere Bedeutung. Diese Stellen sind auf der einen Seite die Wurzelspitzen, auf der andern Seite die Blätter. Wenn die Wurzel und ebendamit der Gegensatz zwischen oberirdischen und unterirdischen Pflanzentheilen noch nicht gehörig entwickelt ist, wie bei den Algen, Pilzen und Flechten, so lassen sich auch noch keine solche äußere, dem Stoffwechsel vorzüglich gewidmete Organe der Pflanze unterscheiden; die Wurzeln dienen hier nur als Haftfasern; die übrige Pflanze läßt Stengel und Blätter nicht an sich erkennen, sondern besteht aus dem

Digitized by Google

mannigfach gestalteten, nicht weiter gegliederten Lager. Aber schon bei den Moosen entwickeln sich unvollkommene Blätter, und bei den Bärlapmoosen, bei den Schafthalmen und Farnkräutern tritt mit der Ausbildung einer wirklichen Wurzel zuerst auch der Gegensatz von Stengel und Blatt deutlich hervor. Die bisher genannten Pflanzengruppen zeigen keine Geschlechtsorgane; die Mehrzahl der Gewächse, nämlich die Geschlechtpflanzen, entbehren weder den Gegensatz von oberirdischen und unterirdischen Theilen, noch den Unterschied der Wurzelspitzen und der Blätter von den übrigen Organen, welche diese beiden Endpunkte der Pflanze unter einander verbinden.

Der Stengel und die Zweige der oberirdischen Pflanze, der Stamm und die Aeste der Wurzel dienen zwar auch dem allgemeinen pflanzlichen Stoffwechsel; aber sie sind doch nicht die Stellen, wo vorzüglich Säfte neu gebildet und umgewandelt werden. Sie vermitteln mehr die Leitung der Säfte von den Wurzelspitzen zu den Blättern; an jenen Punkten findet die Aufnahme, an diesen die vornehmlichste Verarbeitung der Nahrungsstoffe statt. Hiemit ist also ein zweiter Gegensatz in der Pflanze gegeben, der Gegensatz zwischen Organen, welchen vorzüglich die Leitung, und zwischen anderen, welchen vorzüglich die Bereitung der organischen Säfte übertragen ist. Und hiemit sind die hauptsächlichen Gegensätze in den Organen des pflanzlichen Stoffwechsels erwähnt. Wo die Organisation einer Pflanze einen höheren Grad von Entwicklung zeigt, da drücken sich die einzelnen Stadien des Stoffwechsels, die Aufnahme tropfbarflüssiger Nahrung, die Aufnahme und Ausscheidung von Gasen, dann die Bereitung und die blose Leitung der Nahrungssäfte auch in verschiedenen Organen der Pflanze aus.

Die nächste Folge des pflanzlichen Stoffwechsels ist die Bildung neuer organischer Substanz und, was damit unmittelbar zusammenhängt, das fortschreitende Wachsthum der Pflanze. Nun kommt zwar das Material zu allen diesen Neubildungen wesentlich aus den Nahrungsstoffen, welche die Pflanze auf-

Digitized by Google

nimmt; aber es gibt doch unter den Bestandtheilen des pflanzlichen Organismus eine Substanz, die gleichsam als der Mittelpunkt aller weiteren Bildungen betrachtet werden muß. Diese Substanz ist das Dextrin, einer der ternären, stiftstofflosen, aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehenden Pflanzenbestandtheile. Dieses Dextrin ist in seinen äußeren Eigenschaften dem gewöhnlichen arabischen Gummi sehr ähnlich; doch unterscheidet es sich von diesem dadurch, daß es in Zucker umgewandelt werden kann, was bei dem arabischen Gummi nicht gelingt. Dextrin ist in Wasser leicht löslich, und da Wasser das Lösungsmittel in allen organischen Körpern darstellt, so kommt Dextrin fast in allen Organen der Pflanzen, und vorzüglich in den lebenskräftigsten Organen als Bestandtheil des Zellensaftes vor. Wo neue Zellen entstehen, da geht das Dextrin in die Substanz der Zellenmembranen, in Cellulose über; dieser Uebergang geschieht entweder direkt oder durch die Mittelstufe des Zuckers. Wie nun Dextrin aus den aufgenommenen Nahrungsstoffen entsteht, ist noch nicht gehörig ermittelt. Ohne Zweifel liefern Kohlensäure und Wasser das Material zu seiner Bildung, und vielleicht geht, wie wir früher schon andeuteten, der Entstehung des Dextrins die Bildung vegetabilischer Säuren voran. In anderen Fällen entsteht aber das Dextrin durch die Umwandlung schon gebildeter pflanzlicher Bestandtheile, und zwar vorzüglich des Stärkmehls.

In vielen Pflanzenorganen, im Eiweiß und in den Keimblättern der Samen, in den Knollen der Kartoffel finden sich große Mengen von Stärkmehl. Dieses unterscheidet sich von dem Dextrin wesentlich dadurch, daß es immer als eine feste, in Wasser unlösliche Substanz vorkommt. Es wird erst bei der Keimung der Samen, beim Auswachsen der Kartoffel löslich; aber der chemische Vorgang, welcher das Stärkmehl löslich macht, verändert auch unmittelbar seine chemische Beschaffenheit, und führt es in Dextrin über. Das Stärkmehl erscheint daher überall, wo es auftritt, nicht unmittelbar als brauchbare

Digitized by Google

Pflanzennahrung; sondern es stellt eine festgewordene, abgelagerte Substanz dar, welche für spätere Zwecke aufbewahrt und mit dem Beginne ihrer Verwendung verflüssigt, in Dextrin umgewandelt wird. Wie nun Stärkmehl in Dextrin übergeht, so entsteht es selbst wieder aus dem letzteren, sobald in Samen oder in Knollen Nahrungsstoff zu späterer Verwendung aufbewahrt werden soll. Geht man also vom Dextrin zunächst aus, so verwandelt sich dieses entweder unmittelbar in die Cellulose von neugebildeten Organen, oder, wo es nicht sogleich in dieser Weise verbraucht wird, da lagert es sich zu künftigem Gebrauch in der Form des Stärkmehles ab. Cellulose und Stärkmehl sind feste, in Wasser unlösliche Substanzen; beide greifen zunächst nicht in den pflanzlichen Stoffwechsel ein. Aber Cellulose wird in der Pflanze nur in sehr seltenen Fällen wieder aufgelöst; beim Stärkmehl ist es Regel, daß neue Processe dasselbe in Dextrin überführen und zu neuer Verwendung im pflanzlichen Stoffwechsel vorbereiten. Sollen demnach die Nahrungsstoffe der Pflanze in stickstofflose Bestandtheile der Organe umgewandelt werden, so kann dieses nicht anders geschehen, als indem aus ihnen Dextrin gebildet wird.

Für die stickstoffhaltigen Bestandtheile kennen wir keine ähnliche, als Mittelpunkt dienende Substanz, und wir sind überhaupt noch keineswegs im Stande, die stickstoffhaltigen Bestandtheile, Kleber, Eiweiß, Legumin, auf ähnliche Weise nach ihrer Stufenfolge an einander zu reihen, wie wir es soeben mit Dextrin, Cellulose und Stärkmehl versucht haben. Was aber von diesen drei stickstofflosen Substanzen gesagt worden ist, wirft doch ein Licht auf die Vorgänge des organischen Stoffwechsels überhaupt. Wie überall in der Natur feste Körper aus dem flüssigen Zustande hervorgehen, so stellt auch das Dextrin, als die löslichste unter allen verwandten Substanzen, das Material dar, aus welchem die Pflanze feste, stickstofflose Theile bildet. Mit dem Eingehen in feste organische Formen

Digitized by Google

verliert das Dextrin seine Löslichkeit; unter allen organischen Stoffen muß die Cellulose durchaus als der unlöslichste angesehen werden. Wenn nun die Entwicklung des pflanzlichen Individuums eine ununterbrochene wäre, wenn überdieß der organische Stoffwechsel keinen anderen Zweck hätte, als nur die Substanz des einzelnen Individuums zu bilden und zu erhalten, so stünde nichts der Möglichkeit im Wege, daß alles Dextrin einer einzelnen Pflanze immer unmittelbar zur Bildung neuer Zellen verwendet, immer geradezu in Cellulose übergeführt würde; die Bildung des Stärkmehls wäre hiedurch ganz ausgeschlossen. Aber jede Pflanze erleidet durch den Wechsel der Jahreszeiten größere oder geringere Unterbrechungen ihrer Processe, und jede greift durch die Bildung neuer Individuen über den engsten Kreis ihres eigenen, individuellen Lebens hinaus. Wo auf diese Weise der Stoffwechsel der einzelnen Pflanze unterbrochen oder abgeschlossen wird, da geht ein Theil des bildbaren Dextrins nicht mehr in Cellulose über; es setzt sich in Form von Stärkmehl als überschüssiger Stoff ab, und erst ein neues Aufleben des Stoffwechsels oder der Lebensanfang eines neuen Individuums bringen das abgelagerte Stärkmehl wieder in Bewegung und führen es in die Form des löslichen und bildbaren Dextrins zurück. Von dieser doppelten Bedeutung des Stärkmehls vermögen die Knollen der Kartoffelpflanze und die Samen unserer Getreidearten die besten Beispiele zu geben: dort sind es die neuen Triebe des Frühjahrs, hier die jungen Getreidepflanzen, welche das Stärkmehl zu den Zwecken ihres Wachsthumes verwenden.

Das Dextrin führt auf diese Weise zu der Betrachtung des *pflanzlichen Wachsthumes* überhaupt. Wurzel und oberirdische Pflanze, Stengel und Blätter gehen erst allmählig aus dem einfachen Keime hervor. Oberirdische und unterirdische Pflanzen treiben immer neue Zweige, neue Blätter und Wurzelspitzen. Aber dieses Wachsthum steht nach Ablauf eines

gewissen Zeitraumes bei jeder Pflanze still. Wir sprechen hier zunächst nicht von den Unterbrechungen, welche durch die Jahreszeiten und vorzüglich durch den Winter der gemäßigten und kalten Gegenden der Erde hervorgebracht werden, sondern von dem völligen Aufhören des Wachsthumes, welches mit dem Tode der Pflanze selbst zusammenfällt. Dieses Aufhören steht mit der Hervorbringung neuer Individuen im genauesten Zusammenhange.

Jeder Zweig, welcher eine Blüthe an seiner Spitze trägt, hat mit dieser Blüthe sein Längewachsthum beschlossen; ebenso verhält es sich mit dem Stengel, wenn dieser selbst an seiner Spitze eine Blüthe entwickelt. Nun bedarf es aber kaum der Bemerkung, daß die Blüthe eben derjenige Theil der Pflanze ist, welcher die Werkzeuge der geschlechtlichen Fortpflanzung in sich schließt. Die Entwicklung der Fortpflanzungsorgane macht also, daß theils bei den Zweigen, theils bei den Stengeln selbst das Längewachsthum aufhört, und im letzteren Falle wird ebendamit in der Regel auch das Wachsthum, das Leben der Pflanze selbst abgeschlossen. Auf solche Weise führt die Sorge für die Erzeugung eines neuen Individuums unmittelbar den Tod des Mutterorganismus herbei. In andern Fällen geschieht dasselbe auf mittelbare Weise. Pflanzen, die nur Ein oder zwei Jahre leben, gehen, auch ohne daß ihr Stengelende eine Blüthe trägt, durch die Erschöpfung zu Grunde, welche die Entwicklung der Blüthen und Früchte zur Folge hat.

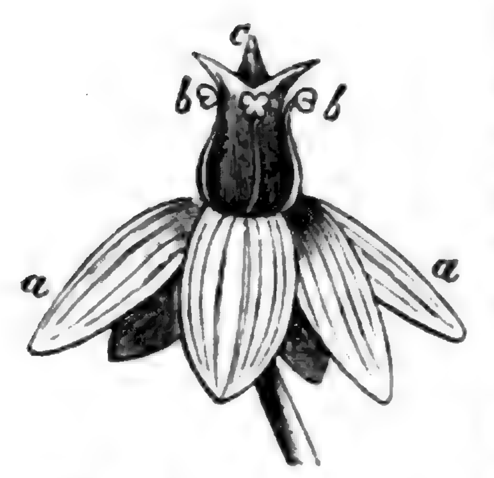
Viele Pflanzen hingegen, und zu diesen gehören insbesondere alle Bäume der Erde, gehen durch Blüthenbildung nicht zu Grunde; während die Blüthen an Seitenzweigen entspringen, geht das Wachsthum des Stammes ungehindert weiter, und der Baum kann nur durch andere, von der Fortpflanzung unabhängige Ursachen getödtet werden. Dahin gehören äußere Unbilden, Winde, Blitzschläge, denen hohe Bäume viel mehr, als niedere, ausgesetzt sind. Dahin gehört gewiß bei manchen

Digitized by Google

Stämmen geradezu ihre Höhe. Palmen oder Bäume aus der Familie der zapfentragenden, tannenähnlichen Gewächse erreichen bisweilen eine Höhe von 200 Fuß und darüber, und es ist leicht einzusehen, daß der Strom des Saftes zum Gipfel des Stammes immer mangelhafter emporsteigt, daß dadurch der Gipfel verkümmert und endlich abstirbt. Wird indeß dieser verkümmerte Gipfel abgeschnitten und aufs Neue in den Boden gesetzt, so fängt er wieder an, sich lebhaft zu entwickeln und zu einem lebenskräftigen Baume auszuwachsen. Wo aber das Leben eines Stengels weder durch die Entwicklung der Blüthen noch durch die bedeutende Gipfelhöhe beeinträchtigt wird, da kann die Pflanze bisweilen in unbegränzter Weise fortwachsen. So liegt der Stengel der Gräser nach Art einer Wurzel horizontal und kriechend unter dem Boden und treibt an seiner Spitze immer neue Glieder hervor; so wachsen stengellose Pflanzen, wie z. B. die Flechten, ohne Gränzen weiter. In diesen Fällen muß allerdings zugestanden werden, daß das Leben der Pflanzen nur durch äußere Umstände, nicht durch innere gesetzmäßig wirkende Ursachen aufhört. Aber solche Fälle sind bei Weitem die Minderzahl, und es muß als Regel angenommen werden, daß das Leben der Pflanzen aus verschiedenen, vorzüglich inneren Ursachen nach längerer oder kürzerer Zeit sein Ende nimmt.

Wir nehmen zuerst nur auf diejenigen Fälle Rücksicht, wo die Ausbildung von Blüthen und Früchten den Untergang des pflanzlichen Individuums bedingt. In allen Blüthen der höheren Pflanzen geschieht die Fortpflanzung durch das Zusammenwirken von zwei verschiedenen Organen; aber diese zwei Organe können theils in Einer Blüthe beisammen, theils auf zwei verschiedene Blüthen derselben Pflanze, theils auf die Blüthen verschiedener Pflanzen vertheilt sein. Die Hauptsache an den Blüthen sind daher die Geschlechtsorgane, und man muß von diesen wohl die blattartigen Blüthentheile, die Blü-

Digitized by Google



thenhüllen (a), unterscheiden. Die Geschlechtsorgane selbst werden als Staubgefässe (b), und als Stempel (c) bezeichnet. Sowohl an den Staubgefässen als am Stempel sind nicht alle Theile für den Zweck der Befruchtung und Fortpflanzung gleich nothwendig. Bei den Staubgefässen bedarf es nur des Blüthenstaubes oder Pollens, welcher in dem Staubbeutel a eingeschlossen ist und bei der Reife dieses Beutels als ein sehr feinkörniges Pulver ausgestreut wird. Von den Theilen des Stempels ist nur der innerste nothwendig, nämlich die kleinen Samenknospen oder Eichen (b), welche im untersten, angeschwollenen Theile des Stempels eingeschlossen liegen und bei einem Querschnitte durch dieses Organ je nach ihrer Größe mit verschiedener Deutlichkeit zum Vorschein kommen. Pollenkörner und Samenknospen können als Produkte von Staubgefäß und Stempel angesehen werden; wenn eine Befruchtung geschehen soll, so müssen beide in unmittelbare Berührung mit einander treten. Es muß späteren Erörterungen überlassen bleiben, die Mittel und Wege anzugeben, durch welche das Pollenkorn zur Samenknospe gelangt. Die Einschließung der letzteren in der Höhle des Stempels, die gegenseitige Stellung von Staubgefäß und Stempel, endlich die öftere räumliche Trennung der beiden Fortpflanzungsorgane machen eigenthümliche Einrichtungen nöthig, damit es wirklich durch Berührung von Pollenkorn und Samenknospe zur Befruchtung der Pflanze kommt.

Hier war es nicht unsere Absicht, auf den Vorgang der Befruchtung genauer einzugehen; wir wollten nur die Organe bezeichnen, durch deren Zusammenwirken das neue pflanzliche Individuum hervorgebracht wird. Nach den früheren Erörte-

Digitized by Google

rungen kann kein Zweifel sein, daß durch diese geschlechtliche Fortpflanzung wirklich ein wesentlich neues Individuum hervorgebracht wird. Wir haben gleichfalls früher erwähnt, daß die geschlechtliche Fortpflanzung Individuen liefert, welche häufig, wie bei Obstbäumen, die Eigenschaften der kultivirten Spielart wieder abgelegt haben, und zur einfacheren Grundform der Species zurückgekehrt sind. Das Produkt der Befruchtung, der erste *Keim* oder *Embryo* (a) der neuen Pflanze bleibt in der Samenknospe (b) und in der Höhle des Stempels (c) noch eingeschlossen. Hier entwickelt er sich weiter, indem der Mutterorganismus ihm Nahrungsstoffe zuführt. Aber mit seiner Reife reißt sich der Embryo vom Mutterorganismus los. Der untere Theil des Stempels, welcher jetzt mit seinem ganzen Inhalte die *Frucht* bildet, zerspringt sogleich, oder fällt als Ganzes ab und wird erst später durch den Proceß der Fäulniß geöffnet. In beiden Fällen verläßt der Embryo die Höhle des Stempels nicht unbedeckt; die Reste der Samenknospe, innerhalb welcher der Embryo entstanden war, umgeben ihn noch als schützende Hüllen, und der Embryo mit seinen Hüllen stellt den *Samen* dar, wie er die Frucht verläßt. Erst durch die *Keimung* tritt der Embryo auch aus dieser letzten Umhüllung hervor. Wurzel, Stengel und Blatt sind im Embryo schon vorgebildet; bei der Keimung dehnen sie sich aus, zersprengen die Samenhüllen, und das junge Stengelchen wächst nach oben, das Würzelchen senkt sich in die Erde ein. Der Embryo beginnt, als junge Pflanze selbständig mit der Außenwelt in Beziehung zu treten.

Während der Keimung des jungen Pflänzchens treten alle Seiten des Stoffwechsels allmählig in deutlicher Weise hervor. Die Verhältnisse sind hier so einfach als möglich; aber die wesentlichen Beziehungen bleiben hier dieselben, wie in der entwickelten Pflanze. Vor Allem nimmt der Embryo Wasser als das hauptsächliche Erforderniß aller chemischen Processe auf. Dann geschieht während der Keimung eine sehr reichliche Auf-

Digitized by Google

nahme von Sauerstoff und Ausscheidung von Kohlensäure; fast nirgends erfolgt dieser Athmungsproceß in der Pflanze mit derselben Energie, als während der Keimung. Die Nahrungsstoffe endlich, welche das Pflänzchen zu seiner ersten Entwicklung bedarf, kann es noch nicht von außen aufnehmen; denn die Organe zu dieser Aufnahme, Wurzel und Blätter, sollen ja erst zu diesem Zwecke ausgebildet werden. Eben deßwegen wird in den Hüllen, die den Embryo zunächst umgeben, oder in den ersten Blättern des Embryo's selbst aus den Säften des Mutterorganismus Nahrungsstoff abgelagert. Hier findet sich vor Allem, wie in den Getreidesamen, Stärkmehl oder in selteneren Fällen, wie im Mohn und Reps, fettes Oel. Diese ternären Stoffe verbraucht das Pflänzchen zum Theil in der Athmung; den größeren Theil derselben führt es in lösliche Substanzen, vorzüglich in Dextrin über, und aus der Dextrinlösung entstehen die Wandungen der neuen Zellen, welche in den wachsenden Organen sich bilden. Außerdem finden sich im Samen stickstoffhaltige Substanzen, Kleber, Eiweiß und Legumin, und von diesen rührt ohne Zweifel der ursprüngliche Inhalt der neugebildeten Zellen des jungen Pflänzchens her. Erst wenn durch diesen Ernährungsproceß Wurzel, Stengel und Blätter ihre gehörige Ausbildung erreicht haben, nimmt die Wurzel Nahrungsstoffe aus dem Boden auf und hauchen die grünen oberirdischen Pflanzentheile Sauerstoff in die Atmosphäre aus.

Zwischen der Keimung und der Bildung eines neuen Pflanzenkeimes durch Befruchtung liegt das Leben der höheren Pflanzen eingeschlossen. Vorzüglich gilt dieses für solche Gewächse, welche nur Ein Jahr leben, und mit der Bildung der Frucht zu Grunde gehen. Aus dem einfachen Keime entwickelt sich hier die Pflanze auf der einen Seite in Wurzeln, auf der andern Seite in Stengel und Blättern. Nahrungsstoffe werden von außen aufgenommen, im Innern verarbeitet und in neue Pflanzensubstanz verwandelt. Aber dieses Wachsthum stockt an einem bestimmten Punkte aus dem Ende der Pflanzen ent-

Digitized by Google

wickeln sich die Organe der Fortpflanzung, Staubgefässe und Stempel. Aus dem Zusammentreffen dieser Organe entsteht der neue Embryo, und diesem wird von der alten, in ihrer Entwicklung gehemmten Pflanze Nahrungsstoff mitgegeben, welchen der Keim zur ersten Ausbildung seiner Organe verwendet. So hat die junge Pflanze in Einer Beziehung den Ausgangspunkt ihrer Existenz mit der Mutterpflanze gemeinschaftlich, und die Reihe der organischen Individuen Einer Species lauft wie ein Kreis immer wieder in sich selbst zurück; aber auf der andern Seite tritt doch jedes Individuum wieder als eine neue, eigenthümliche Combination der Charakterzüge der Species auf.

Diese feste Begränzung der pflanzlichen Individualität findet sich in ihrer ganzen Schärfe nur bei den einjährigen Geschlechtpflanzen. Sie ist wesentlich an das Vorhandensein von zweierlei Fortpflanzungsorganen geknüpft, und wird daher beeinträchtigt, sobald andere Fortpflanzungsweisen statt oder neben der geschlechtlichen vorhanden sind. Der geschlechtlichen Fortpflanzung steht zunächst die Vermehrung durch Keimkörner oder Sporen gegenüber. Soweit man bis jetzt die Entwicklung der sogenannten Kryptogamen oder Agamen, der Pilze, Algen, Flechten, Moose, Bärlapmoose, Farnkräuter und Schafthalme kennt, bedarf es hier zur Ausbildung der keimungsfähigen Sporenzelle nur eines einzigen Organes, so der Kapsel der Moose und der Sporangien der Farnkräuter; die Organe, welche man bei Moosen, Farnkräutern und Schafthalmen als Antheridien beschrieben hat, sind in Bezug auf ihre Funktion noch sehr dunkel; aber sie scheinen doch bei der Bildung der Sporen keinenfalls als männliche Geschlechtsorgane mitzuwirken. Die Bildung der Keimkörner geschieht in besonderen Mutterzellen nach den Gesetzen der freien Zellenbildung. Diese Fortpflanzung durch Sporen ist also jedenfalls eine geschlechtlose, und es kann hier völlig unerörtert bleiben, ob nicht außerdem den höheren, mit Stengel und Blatt versehenen Kryptogamen noch ein Analogon von Geschlechtsorganen zukomme,

Digitized by Google

was die neuesten Untersuchungen allerdings nicht unwahrscheinlich machen.

Viel verbreiteter ist die Vermehrung der Pflanzen durch Theilung. Bei den niedersten Wasserpflanzen, bei ein- und mehrzelligen Algen, wie Diatomeen und Oscillatorien, scheint diese Vermehrung die einzig mögliche zu sein; aber bei den übrigen Kryptogamen kommt sie neben der Sporenbildung, bei den Phanerogamen neben der geschlechtlichen Fortpflanzung vor. Sie tritt hier auf als Knospenbildung; eine einzelne Zelle oder eine Gruppe von Zellen vergrößern sich durch Zellentheilung und geben Veranlassung zur Hervorbildung eines Knötchens, aus welchem ein neues, lebensfähiges Individuum entstehen kann. Die Knospe (A) enthält Stengel (a) und Blätter (b), was auf dem Längsschnitte (B) deutlich erkannt wird. Aber es fehlt ihr die Wurzel, welche bei jedem Embryo, d. h. bei jedem aus geschlechtlicher Fortpflanzung hervorgehenden Pflanzenkeime immer vorhanden ist. Daraus erklärt es sich leicht, daß die Knospe in der großen Mehrzahl der Fälle nicht von ihrer Mutterpflanze sich trennt, um als selbständiges Individuum ihre Nahrung aus dem Boden aufzunehmen. Die Knospen, welche z. B. am Stamme oder an den Aesten unserer Bäume sich ausbilden, ziehen ihre Nahrung aus den älteren Pflanzentheilen, auf welchen sie entstanden sind; sie verbrauchen daher keine rohen, sondern schon vorbereitete Nahrungsstoffe. Nur ausnahmsweise lagern sich in den Blättern oder in dem Stengel der Knospe bei ihrer Ausbildung Nahrungsstoffe und besonders Stärkmehl ab, und diese befähigen die Knospe, nicht blos auf der Mutterpflanze sich weiter zu entwickeln, sondern auch Wurzeln hervorzutreiben und dadurch zu einer völlig selbständigen Pflanze sich auszubilden. Wenn solche Stoffe sich in dem Stengel ablagern, so entsteht daraus der dicke, mit verkümmerten Blättern besetzte Knollen der Kartoffel; wenn sie

Digitized by Google

in den Blättern abgesetzt werden, so bildet sich die rundliche, mit kurzem Stengel versehene Zwiebel vieler Gewächse.

Man hat vielfach die Frage aufgeworfen, wofür ein Baum eigentlich zu halten sei, ob für ein einziges Individuum oder für eine Masse von einzelnen, unter einander verbundenen Individuen. Wenn man unter die Fortpflanzungsweisen nicht nur die Entstehung eines Embryo's durch das Zusammenwirken von zwei Geschlechtsorganen, sondern auch die geschlechtlose Knospenbildung rechnet, so kann freilich jedes Gewächs, das nicht blos aus einem Stengel und Blättern besteht, sondern durch Weiterbildung von Knospen Seitenzweige getrieben hat, nicht mehr als ein einfaches Individuum betrachtet werden. Jeder Baum besteht aus einer großen Zahl, gleichsam aus einer ganzen Familie von Individuen, welche noch fest mit dem Mutterorganismus zusammenhängen, welche vom Mutterorganismus, vom Stamme aus ihre Nahrung erhalten und selbst wieder zur lebenskräftigen Entwicklung des Stammes wesentlich beitragen. Diese Anschauungsweise wird weniger fremdartig erscheinen, wenn wir bei niederen Thieren, z. B. bei den Polypen, ähnliche Familien kennen lernen werden, welche in organischem Zusammenhang unter einander stehen und sehr häufig den Nahrungskanal gemeinschaftlich haben. Offenbar geht bei den Gewächsen die Knospenbildung der geschlechtlichen Fortpflanzung voran, und die letzte ist es erst, durch welche auch räumlich ein neues Individuum sich von dem alten los reißt, um in voller Selbständigkeit sein Leben zu beginnen.

Ernährung und Fortpflanzung werden von Manchen als die einzigen Thätigkeiten des pflanzlichen Organismus aufgezählt. Wir haben schon erwähnt und wir werden es im Folgenden nachweisen, daß der Pflanze auch noch andere Seiten der Thätigkeit zukommen. Aber hier ist es nothwendig, noch einen Effekt jenes Stoffwechsels zu erwähnen, welcher sowohl die Ernährung als die Fortpflanzung der Gewächse vermittelt. Wir meinen die Wärme der Pflanzen.

Der chemische Proceß, welcher im Innern der lebenden Pflanze ununterbrochen vor sich geht, ist vorzüglich darauf gerichtet, aus den tropfbarflüssigen und gasförmigen Nahrungsstoffen der Pflanze theils feste theils tropfbarflüssige Bestandtheile zu bilden. Bei diesem Stoffwechsel findet daher im Wesentlichen eine Vermehrung der Cohäsion statt. Wie nun bei jeder Cohäsionsvermehrung der Körper Wärme entbunden wird (I. 84 ff.), so kann es auch nicht fehlen, daß die pflanzliche Stoffbildung eine dauernde, wenn auch nicht bedeutende Wärmeentwicklung in ihrem Gefolge hat. Dazu kommt aber noch der Athmungsproceß, welcher bei den Pflanzen, wie bei den Thieren, in Aufnahme von Sauerstoff und Ausscheidung von Kohlensäure besteht. Durch die Verbindung des aufgenommenen Sauerstoffes mit dem Kohlenstoff der Pflanzensubstanz wird, wie bei Verbrennung der Kohle, Wärme erzeugt. Je energischer daher dieser Athmungsproceß ist, desto mehr Wärme wird von der Pflanze entbunden. So erwärmen sich die Samen der Getreidearten, des Hanfes und Klee's, wenn man sie in größeren Massen keimen läßt, bis zu 40°; so wurde in den Blüthen mehrerer Aroideen, z. B. der Calla, eine Wärmeentwicklung bis zu 43° beobachtet. Diesen zwei Quellen der Wärme stehen in der Pflanze zwei andere Processe gegenüber, durch welche Wärme gebunden wird. Einmal muß die Verdunstung des Wassers an der Oberfläche aller oberirdischen Pflanzentheile nothwendig Kälte erzeugen (I. 87). Dann entwickelt sich in den grünen Theilen der oberirdischen Pflanze Sauerstoff als Folge des Ernährungsprocesses, und diese Gasbildung aus den tropfbarflüssigen Pflanzensäften kann gleichfalls, wie jeder Uebergang aus einem cohärenteren in einen weniger cohärenten Zustand, nicht ohne Bindung von Wärme oder Entwicklung von Kälte vor sich gehen. Neuere Untersuchungen von Göppert haben indessen gezeigt, daß im Ganzen die Ursachen der Wärmebildung über die Ursachen der Erkaltung in den Pflanzen überwiegen. Die Eigenwärme der ausgebildeten Pflanzen ist übri-

Digitized by Google

gens sehr gering und steigt nur, wenn die Pflanzen zusammengehäuft und mit schlechten Wärmeleitern umgeben werden, über 1°; die Wärme erreicht um Mittag ihr Maximum, um Mitternacht ihr Minimum.

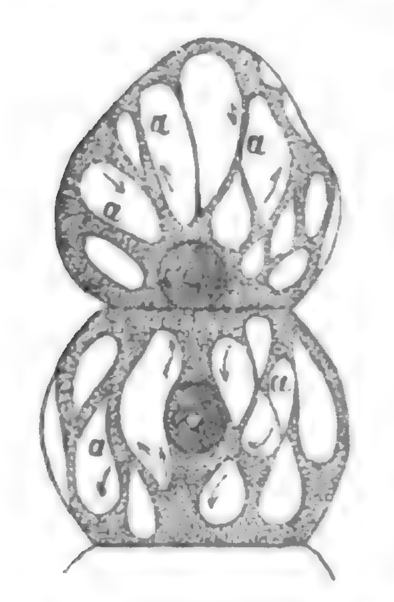
Wenn hienach das endliche Resultat aus allen Lebensprocessen der Pflanze nur eine sehr unbedeutende Steigerung der Temperatur ergibt, so bleibt doch so viel sicher, daß die Pflanze eine ununterbrochene Wärmequelle in ihrem Stoffbildungs- und Athmungsprocesse besitzt. Die Pflanze unterscheidet sich dadurch wesentlich vom Mineral, welches, sobald es festgeworden ist, immer nur die Temperatur der umgebenden Körper annimmt. Dieser Unterschied hängt einerseits mit dem ununterbrochenen Stoffwechsel der Pflanze und andererseits mit der inneren, sowohl chemischen als physikalischen Ruhe des Minerals genau zusammen.

Wenn der Pflanze neben allen diesen Vorgängen der Stoffbildung, des Wachsthums und der Fortpflanzung auch noch, wie sich nicht bezweifeln läßt, innere und äußere Bewegungserscheinungen zukommen, so entsteht zunächst die Frage, ob diese Bewegungen mit dem Stoffwechsel in einer besonderen Beziehung stehen, ob sie namentlich, gleich den thierischen Bewegungen, die Unterstützung des stofflichen Lebens der Pflanze zu ihrem vorzüglichen Zwecke haben. Von manchen der pflanzlichen Bewegungen läßt sich allerdings ein solcher Zusammenhang nicht wohl bezweifeln. Hiebei müssen natürlich diejenigen Bewegungen ausgeschlossen werden, welche blos Folge des Wachsthumes oder des Austrocknens einzelner Zellgewebschichten sind, so z. B. die allmählige Entfernung der Stengelspitze von der Stelle, an welcher die Pflanze aus dem Boden hervorkommt, oder die Zerreißung vieler Früchte, um die Samen auszustreuen.

Der pflanzliche Stoffwechsel wird vor Allem durch eine Saftbewegung unterstützt, welche aber mit dem schon erwähnten Aufsteigen des Saftes im Stengel durchaus nicht verwechselt werden darf. In jeder jungen, lebenskräftigen Zelle ist der

Digitized by Google

tropfbarflüssige Inhalt, welcher die Höhle ausfüllt, nicht in Ruhe. Schmale Strömchen, wahrscheinlich von stickstoffhaltiger Substanz, ziehen durch die Höhle in verschiedenen Richtungen hin. Das eine Mal steigen sie an der einen Seite der Zelle empor und kehren an der entgegengesetzten wieder zu ihrem Ausgangspunkte zurück; das andere Mal (a, a) gehen sie von einem Mittelpunkte (c) nach allen Seiten auseinander, und sammeln sich im Mittelpunkte wieder zu einer dichteren Masse. Bei allen diesen Bewegungen spielt der Zellenkern eine bedeutende Rolle; bei der zweiten Art der Strömung stellt er eben den Mittelpunkt dar, von welchem alle Strömchen ausgehen und zu dem alle zurückkehren. Aber ob und wie hiebei der Kern mitwirkt, ist völlig unentschieden. Alles spricht dafür, daß die Bewegung des Zellensaftes nicht, wie das Aufsteigen der Pflanzensäfte, ihren Grund in der gegenseitigen Verbindung von Zellen hat, sondern daß die Bedingungen jener cirkulirenden oder rotirenden Strömungen in jeder einzelnen Zelle selbst gelegen sind. Denn die Strömungen dauern fort, wenn auch die Zellen aus ihrer gewöhnlichen Verbindung herausgenommen werden; sie sind am stärksten bei denjenigen Zellen, welche sich noch im Anfange ihrer Existenz befinden und ein verhältnißmäßig selbständiges Leben führen. Was aber die stickstoffhaltigen Flüssigkeiten antreibt, in schmalen Strömchen durch den übrigen Zelleninhalt sich fortzubewegen, ist völlig unaufgeklärt. Elektrische Anziehung und Abstoßung scheint hier nicht im Spiele zu sein. Allerdings wird die Saftbewegung nach Dutrochet durch die Einwirkung eines elektrischen Stromes vorübergehend unterbrochen; aber Elektricität wirkt hiebei nicht anders, als starke Temperaturveränderungen oder Uebertragung der Pflanze aus süßem in salziges Wasser.



Wir befinden uns mit den Ursachen dieses Kreislaufes der Zellsäfte in derselben Unklarheit, welche überhaupt alle Bewegungsphänomene der Pflanze noch umgibt. Nur so viel ist sicher, daß jener Kreislauf in den Zellen vorkommt, welche den lebhaftesten Stoffwechsel zeigen, daß er also theils den Stoffwechsel unterstützen, theils selbst wieder durch den Stoffwechsel angeregt werden muß.

Die Bewegung des pflanzlichen Zellsaftes ist in dem letzten Jahrzehent immer mehr als ein allgemeines Phänomen der Pflanzenzellen erkannt worden. Auch die äußeren Bewegungen der Pflanzen haben durch die Untersuchungen der letzten Jahre allgemeinere Bedeutung und innigeren Zusammenhang gewonnen.

Wenn die Diatomeen, mikroskopische Organismen, welche man jetzt wohl mit Recht nicht mehr zu den Thieren, sondern zu den einzelligen Algen rechnet, sich langsam und ohne Krümmung vorwärts und rückwärts bewegen, so kann der Grund hiefür weder in der Aufnahme oder Ausscheidung von Säften, noch in besonderen Bewegungsorganen gesucht werden. Dasselbe ist der Fall bei dem pendelartigen Hin- und Herschwingen und bei der spiralförmigen Krümmung der mehrzelligen Oscillatorien. Die Zellensubstanz selber und wohl namentlich die Zellenmembran muß hier die Bewegungen ausführen; der Reiz zur Bewegung aber scheint vorzüglich durch Licht und Feuchtigkeit gegeben zu werden. Diatomeen und Oscillatorien ziehen sich von dunkeln Orten nach helleren, aus dem vertrocknenden Schlamme nach feuchteren Stellen hin.

Ein zweites elementäres Bewegungsphänomen zeigt sich bei den einfachen, ein- oder mehrzelligen Haftfasern der niedersten Gewächse, der Algen und Moose, welche sich mit besonderer Kraft an fremde, feste Körper anschmiegen. Man hat auch bei dieser Erscheinung nicht das Recht, den Grund in Verschiedenheiten der Ernährung oder des Wachsthumes zu suchen. Es läßt sich nur aussprechen, daß für niedere Gewächse Licht und feste Körper vorzügliche Bewegungsreize werden. Was aber hier

in den einfachsten und zugleich klarsten Zügen sich darstellt, das wiederholt sich in viel verwickelteren Verhältnissen bei den höheren Gewächsen.

Die Wurzeln vieler Pflanzen, die Ranken der Weinrebe fliehen das Licht. Aber viel wichtiger ist die Anziehung, welche das Licht auf sehr viele Pflanzentheile ausübt. Jedermann weiß, daß biegsame Stengel, wenn sie nur von der einen Seite beleuchtet werden, sich dieser Seite zuneigen; dieser Erfolg wird einfach durch eine Krümmung der stärker beleuchteten Seite hervorgebracht. Ebenso ist es allgemein bekannt, daß die Blätter der Pflanzen ihre obere Fläche immer und um so genauer der Sonne zukehren, je beweglicher diese Blätter sind. Auf derselben Basis ruht die Erscheinung, daß die Blüthen sich alle dem Sonnenlichte zuwenden. Es kann die Ursache und der innere Vorgang aller dieser Phänomene durchaus nicht angegeben werden; nur so viel ist fast sicher anzunehmen, daß das Licht direkt und nicht mittelbar durch Veränderungen im Stoffwechsel auf die reizbaren Organe der Pflanze einwirkt. An diese Bewegungen schließt sich aber aufs innigste die Lageveränderung mancher Blätter an, welche man als ihr Wachen und Schlafen bezeichnet. Es ist ohne allen Zweifel die Abwesenheit des Sonnenlichtes, was die Blätter mancher Pflanzen, und vorzüglich zusammengesetzte Blätter veranlaßt, sich während der Nacht zu senken, zu heben oder zusammen zu falten. Dahin gehört dann auch das Oeffnen und Schließen der Blüthen, welches in der Regel mit dem Wechsel von Tag und Nacht zusammentrifft. Auf diese Weise übt das Licht auf die verschiedensten Pflanzen während ihres ganzen Lebens einen sehr entschiedenen Einfluß als Bewegungsreiz aus. Die Bewegungen, welche es hervorruft, scheinen aber überdieß den Stoffwechsel der dem Lichte zugekehrten Theile wesentlich zu fördern. Blätter z. B., deren untere Fläche anhaltend oder wiederholt dem Sonnenlichte zugekehrt wird, gehen allmählig zu Grunde.

Dem Lichtreize steht der Reiz äußerer, fester Körper, der

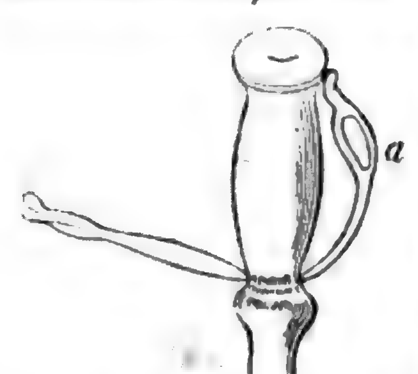
Digitized by Google

mechanische Reiz gegenüber. Wie die Würzelchen niederer Pflanzen sich an feste Körper andrücken, so wird auch die Umschlingung fester Körper durch Ranken oder windende Stämme von H. Mohl aus dem Reize erklärt, welchen diese Körper auf die betreffenden Pflanzentheile ausüben. Ranken und windende Stengel krümmen sich auch ohne Berührung eines fremden Körpers; aber sobald sie auf eine Stütze stoßen, schmiegen sie sich an diese an, schlingen sich um dieselbe herum und bleiben mit ihr während ihres ferneren Wachsthumes in inniger Berührung. Diese Umschlingung der Stützen hat offenbar den Zweck, den rankenden und windenden Pflanzen einen Halt zu geben, welchen sie für die ungehemmte Ausführung ihrer Funktionen bedürfen, welchen sie aber für sich vermöge der großen Biegsamkeit ihrer Stängel und Aeste entbehren. Wie nun die Schlafbewegung sich an die Krümmung der Stengel, Blätter und Blüthen nach dem Lichte anschließt, so muß die Bewegung der Ranken und windenden Gewächse mit den eigenthümlichen Bewegungen in Verbindung gesetzt werden, welche einige Blätter auf Stoß, Erschütterung, elektrische Schläge ausführen. Wir müssen uns hier auf eine kurze Bezeichnung dieses Phänomenes beschränken, und dem folgenden Kapitel die weitere Auseinandersetzung desselben vorbehalten. Solche Bewegungen werden vorzüglich an zusammengesetzten Blättern beobachtet, und Mimosa pudica ist in dieser Beziehung eigentlich die klassische Pflanze geworden. Auf äußere Reize nähern sich die Blättchen ihrer zusammengesetzten Blätter einander, und dann senkt sich das ganze Blatt sammt seinem Blattstiele. Die Lage, die das Blatt hiedurch annimmt, ist der Lage während des Schlafes sehr ähnlich. Ueber die weiteren Bedingungen dieses Phänomenes ist beobachtet worden, daß Jugend, Licht und Wärme die Bewegungen befördert, daß die Bewegungsfähigkeit umgekehrt durch Alter, durch Entziehung von atmosphärischer Luft und insbesondere durch oft wiederholte Reizung vermindert wird, daß endlich die Blätter an leichtere Einwirkungen, z. B. an wiederholte Erschütterungen sich

Digitized by Google

gewöhnen können. Alle diese Bedingungen begründen eine auffallende Aehnlichkeit zwischen den Bewegungen der Mimosa und den unwillkürlichen, durch Muskel vermittelten Bewegungen der Thiere. Eine bestimmte Zweckmäßigkeit ist aber bei jenen Bewegungen nicht zu erkennen; sie erscheinen nur als die einfache Folge äußerer Reize.

Nicht in allen Fällen lassen sich indeß solche äußere Reize als Veranlassung zur Bewegung von Pflanzentheilen nachweisen. So zeigen die zusammengesetzten Blätter der tropischen Arten der Gattung Hedysarum beständige schwingende Bewegungen, welche vom Einflusse des Lichtes ganz unabhängig sind. So nähern sich bei vielen Pflanzen Staubgefässe und Stempel zur Zeit der Befruchtung, und zwar geschieht die Näherung theils vom oberen Theile des Stempels, theils, wie bei Berberis, vom Staubgefässe (a) aus. Diese Bewegungen können bisweilen auch durch äußere mechanische Eindrücke hervorgerufen werden; aber in der Mehrzahl der Fälle scheinen sie nur auf einen innern Antrieb zu erfolgen. Eine gewisse Stufe des Wachsthumes und der Entwicklung bedingt unmittelbar auch die Thätigkeit der bewegungsfähigen Pflanzentheile. In den Fällen, wo die Fortpflanzungsorgane sich nähern, liegt der Zweck dieser Bewegungen zu Tage. Die Entfernung zwischen Staubgefäß und Stempel wird hier verkleinert oder aufgehoben und die Ausstreuung des Blüthenstaubes auf die Narbe des Stempels möglich gemacht.



Endlich werden die Bewegungen der Pflanze auch durch die Schwere bestimmt, welche vom Erdmittelpunkte aus auf alle, an der Erdoberfläche befindlichen Körper wirkt. Im Allgemeinen schon hält natürlich diese Schwere auch die Pflanzen an der Erdoberfläche fest; aber sie scheint noch ganz besonders auf einzelne Organe der Pflanzen einzuwirken. Die Eigenthümlichkeit der keimenden Pflanze, sich mit ihrer Wurzel dem Erd-

Digitized by Google

körper, mit ihrem Stengelende der Atmosphäre zuzuwenden, ist von verschiedenen Physiologen aus verschiedenen Ursachen erklärt worden. Aber es scheint, daß sie der Effekt mehrerer zusammenwirkenden Ursachen ist. Dahin gehört die Anziehung, welche das Licht auf das Stengelende der Pflanze, und die abstoßende Wirkung, welche das Licht meist auf das Würzelchen ausübt. Ferner kommt hier der mechanische Reiz in Betracht, durch welchen feste Körper die Wurzeln der Pflanzen bestimmen, sich an sie anzuschmiegen. Endlich aber wird, wie aus Knight's Versuchen hervorgeht, das Würzelchen noch insbesondere durch die Schwerkraft angezogen, welche vom Erdmittelpunkte aus wirkt. Diese Schwerkraft kann nicht wohl als ein Bewegungsreiz angesehen werden, wie Licht, wie mechanische Eindrücke, wie innere Zustände der Organismen. Sie bestimmt wohl die pflanzlichen Bewegungen auf dieselbe Weise, wie die thierischen, und als Endresultat ergibt sich im Pflanzen- und Thierreiche immer eine Bewegung, welche zugleich von der inneren, durch Reize angeregten, organischen Bewegungskraft und von dem äußeren Einfluß der Schwere abhängt. So scheint auch die Richtung der oberen Blattfläche gegen die Sonne nicht von dem Reize des Lichtes allein, sondern zugleich von einer Anziehung der unteren Blattfläche durch die Schwere bestimmt zu werden. Keine organische Bewegung ist demnach ein einfaches Phänomen, sondern jede resultirt aus dem Zusammenwirken mehrerer, theils innerer theils äußerer Ursachen.

Die Beziehungen der Pflanzen zu den physikalischen Agentien der umgebenden Schöpfung liegen klar zu Tage. Stoß, Elektricität, vor Allem aber das Licht üben auf alle oder einzelne Pflanzen einen ganz deutlichen Einfluß aus; und zwar zeigt sich die Empfänglichkeit für diese Eindrücke in den Bewegungen, welche durch sie in den Pflanzen hervorgerufen werden. Mit der Empfänglichkeit für äußere Reize tritt also auch die organische Bewegungsfähigkeit bei den Pflanzen deutlich hervor. Wenn daher auch Stoffbildung und Fortpflanzung die hervor-

Digitized by Google

stechenden Züge des pflanzlichen Lebens umfassen, so muß doch außer ihnen die Fähigkeit, sich auf äußere Reize zu bewegen, als eine wesentliche Eigenschaft der Pflanze betrachtet werden. Stoffbildung und Bewegung beziehen sich zunächst nur auf das pflanzliche Individuum; die Fortpflanzungsthätigkeit bezieht sich auf die Erhaltung der Species. Wir haben jetzt noch einige Beziehungen hervorzuheben, in welchen die Pflanze während ihres Lebens und nach ihrem Tode zu der organischen Schöpfung im Allgemeinen steht.

Von den Nahrungsmitteln, welche das Pflanzenreich dem Thierreiche bereitet, ist schon öfters gesprochen worden. Ebenso wurde zur Genüge gezeigt, daß die Pflanzen durch ihre grünen Theile unter Einwirkung des Sonnenlichtes Kohlensäure aufnehmen und Sauerstoff ausscheiden; da nun diese Ausscheidung von Sauerstoff den Verbrauch desselben Elementes in der pflanzlichen Athmung entschieden überwiegt, so wird durch das Pflanzenreich die Luft von Kohlensäure reiner, an Sauerstoff reicher und eben damit zum Athmen der Thiere geeigneter gemacht. Aber außer diesen nützlichen Produkten erzeugt der pflanzliche Stoffwechsel auch Substanzen, welche sowohl dem pflanzlichen als dem thierischen Leben gefährlich sind; gewöhnlich werden diese Substanzen als Absonderungen bezeichnet. Dahin rechnet man vorzüglich die ätherischen Oele, die Harze, die Alkaloide und die aus verschiedenen Stoffen gemischten Milchsäfte der Pflanzen. Diese Absonderungsstoffe scheinen in die chemischen Processe der Pflanze fernerhin nicht einzugreifen; sie sind großentheils im Innern des Pflanzenkörpers abgelagert; theilweise fließen sie auch durch Risse aus oder dunsten, wie die ätherischen Oele, an der Pflanzenoberfläche ab. Alle diese Stoffe wirken giftig, wenn sie von irgend welchen Pflanzen aufgesaugt werden; sie sind aber auf gleiche Weise dem thierischen Leben schädlich. Nur in kleineren Mengen und auf einer höheren Kulturstufe werden sie, und zwar insbesondere die Pflanzenalkaloide, als Reizmittel oder als Arzneistoffe verwendet. Zur Nahrung, zur

Digitized by Google

wirklichen Unterhaltung des Lebens dienen sie sowohl bei Pflanzen als bei Thieren unter keinen Umständen. Hier treffen wir zum ersten Mal auf Substanzen, welche, obwohl sie von Organismen gebildet werden, doch zum organischen Leben überhaupt sich feindselig verhalten; die positive Schädlichkeit dieser Stoffe kann nicht geläugnet werden.

Das Thierreich gibt dem Pflanzenreich die gelieferten Stoffe, sowohl die Nahrungsmittel als den Sauerstoff, unter der Form von Zersetzungsproducten wieder zurück. Diese verwesenden thierischen Substanzen vermengen sich indeß mit faulenden Pflanzentheilen zu jener in Zersetzung begriffenen, nicht näher zu bestimmenden Masse, welche die Ackererde fruchtbar, zu Humus macht. Diese Masse schließt verschiedene Zersetzungsstufen der organischen Substanzen in sich. Vor Allem gehört dahin die Kohle, welche dem Humus seine schwarze Farbe verleiht; sie stellt einen der Endpunkte der langsamen Zersetzung pflanzlicher Substanzen dar (I. 403). Diese Kohle wirkt auf die Ernährung der Pflanzen in zweifacher Weise ein. Als poröser Körper (I. 48) zieht sie Gase aus der Atmosphäre an und verdichtet sie in ihren Zwischenräumen; unter diese Gase gehört vorzüglich Kohlensäure, Ammoniak und Wasserdunst. Das Wasser nämlich, welches als Regen oder Schnee auf die Erde niederfällt, reicht bei Weitem nicht zur Ernährung der Pflanzen hin, und es ist noch die Absorption von atmosphärischen Wasserdünsten durch den Boden nothwendig, um den Pflanzenwurzeln Wasser und mit ihm Kohlensäure und Ammoniak in gehöriger Menge zuzuführen. Zweitens erhöht die Kohle die Erwärmbarkeit des Bodens, indem sie die Wärmestrahlen der Sonne im höchsten Maaße verschluckt (I. 101). Eine gewisse Wärme des Bodens steigert aber bedeutend die Aufsaugung und Saftleitung in den Spitzen und Zweigen der Wurzeln. Auf diese Weise befördert also die verkohlte Pflanzensubstanz, welche die Ackererde enthält, nach physikalischen Gesetzen den Ernährungsproceß der Pflanzen.

Die faulenden Stoffe der Ackerde sind aber außerdem auch

Digitized by Google

eine wirkliche Nahrungsquelle. Durch die Verwesung der pflanzlichen und thierischen Substanzen wird fortwährend Kohlensäure und Ammoniak erzeugt, welche die Quantität der der Wurzel zugeführten Nahrungsstoffe erhöhen. Außerdem wird aber schon seit längerer Zeit die Frage behandelt, ob alle organischen Stoffe der Ackererde nur dadurch die Pflanzen ernähren, daß sie zur Entstehung von Kohlensäure und Ammoniak, d. h. von denselben Substanzen Veranlassung geben, welche auch in der Atmosphäre enthalten sind; oder mit anderen Worten: ob die Pflanze sich überhaupt nur von unorganischen, binären Verbindungen ernähre. Früher hatte man es als ganz natürlich betrachtet, daß die organischen Stoffe des Düngers als solche in die Pflanzenwurzeln übergehen, daß überhaupt organische Nahrung für die Pflanzen die einfachste und angemessenste sei. Für die Schmarotzerpflanzen, welche ihre Nahrung aus den Säften anderer Gewächse ziehen, gilt allerdings dieser Grundsatz; aber es ist vorzüglich Liebig's Verdienst, nachgewiesen zu haben, daß außer den Parasiten alle Pflanzen aus unorganischer Nahrung, aus Wasser, Kohlensäure und Ammoniak ihre Organe zu bilden vermögen. Diese Quelle der Ernährung ist wahrscheinlich im Pflanzenreiche die überwiegende, und es kann nur noch die Frage sein, ob außerdem auch noch halbzersetzte, ternäre oder quaternäre organische Verbindungen in die Pflanzenwurzeln als Nahrung übergehen können. Die Möglichkeit einer solchen untergeordneteren Nahrungsquelle kann nicht mit voller Sicherheit geläugnet werden; es müßten hiebei diejenigen Substanzen eine bedeutende Rolle übernehmen, welche Mulder im Humus nachgewiesen und als Ulmin, Ulminsäure, Humin, Huminsäure, Geinsäure, Quellsalzsäure und Quellsäure beschrieben hat.

Auf solche Weise dienen faulende Organismen fortwährend zur Unterhaltung des Pflanzenreiches, indem sie theils physikalisch die Wurzelthätigkeit befördern, theils selbst Nahrungsstoffe für die Pflanzen liefern.

Bei der bisherigen Erörterung ist von dem inneren Bau

Digitized by Google

und von der äußeren Gestalt der Gewächse fast ganz abgesehen worden. Es war nur der Zweck, die Lebensvorgänge in der Pflanze nach ihren Hauptzügen zu schildern. Wir haben jetzt gezeigt, wie die Stoffe in die Pflanze eingehen, wie sie angeeignet und theils zur Bildung des Individuums selbst, theils zur Entstehung eines neuen Individuums verwendet werden, wie manche Stoffe schon während des Lebens aus dem pflanzlichen Stoffwechsel austreten, zuletzt aber Pflanzen und Thiere durch ihre Verwesung in Substanzen sich umwandeln, welche selbst wieder die pflanzliche Ernährung wesentlich befördern. Wir haben auf der andern Seite die dunkeln Bewegungserscheinungen verfolgt, welche auf allen Lebensstufen der Pflanze nicht ganz fehlen, aber die überwiegende Seite des Pflanzenlebens, die Stoffbildung und Fortpflanzung, als untergeordnete und zum Theil dienende Vorgänge begleiten. Der innere Bau und die äußere Form der Pflanzen verlangen jetzt auch ihre Berücksichtigung. Sie stellen die zwei Seiten dar, nach welchen das gestaltende Princip in der Pflanze wirkt. Wir brauchen nur kurz darauf hinzuweisen, daß diese innere und äußere Gestalt sich nicht aus den pflanzlichen Funktionen mit Nothwendigkeit ergibt, daß sie aber trotz ihren eigenthümlichen Gesetzen mit jenen Funktionen innig harmonirt. Wir treten hier Thatsachen entgegen, von welchen im Reich der Gestirne nur die ersten Andeutungen sich fanden. Wir müssen die Weisheit des Schöpfers hier zum voraus als den Grund aller jener Harmonien bezeichnen, welche sich bei der Vergleichung der innern und äußern Gestalt mit den Thätigkeiten der Pflanze ergeben werden.

---

3) **Der innere Bau der Pflanze.** Das Erste, was der Stoffwechsel der Pflanze bedarf, sind Organe, in welchen die Umwandlung der aufgenommenen Nahrungsstoffe vor sich geht. Diesen Zweck erfüllt aufs beste die pflanzliche Zelle. Rings von einer geschlossenen Hülle umgeben, enthält sie flüssige Substanzen, welche mit den aufgenommenen Stoffen in chemische

Digitized by Google

Wechselwirkung treten. Die Aufnahme von Nahrungsstoffen geschieht immer durch die Zellenhülle, und wir haben früher gezeigt, daß diese nach dem Gesetze der Endosmose nur flüssige, insbesondere tropfbarflüssige Substanzen durchläßt, und daß dieser Durchgang je nach der Verschiedenheit der Flüssigkeiten verschieden leicht, in der Regel bei dichteren Flüssigkeiten schwerer, als bei dünneren, geschieht. Im Allgemeinen darf also angenommen werden, daß die Aufsaugung und der Austritt aller Stoffe durch die Zellenhülle nach den Gesetzen der Endosmose vor sich geht; aber im Einzelnen ist die Frage noch kaum erörtert, wie sich die Hüllen einzelner Zellen in endosmotischer Beziehung verhalten. Es lassen sich hier nur wenige Gesichtspunkte angeben.

In der ersten Zeit ihrer Existenz besitzt die Zelle eine überaus feine Hülle, an welcher keine Schichtung und überhaupt keine weitere Zusammensetzung unterschieden werden kann. Solche junge Zellen greifen aufs lebhafteste in den allgemeinen Stoffwechsel ein; sie tauschen fortwährend ihren eigenen Inhalt mit den Säften der benachbarten Zellen oder mit den äußeren Nahrungsstoffen aus; die dünne Zellenhülle gestattet hiebei in allen Richtungen und an allen Punkten den freiesten Durchgang. Je älter aber eine Zelle wird und je ununterbrochener sie zugleich Flüssigkeiten aufnimmt und abgibt, desto mehr weicht die Zellenhülle von ihrer ursprünglichen Feinheit ab. Aus dem Zellsafte lagern sich an der inneren Oberfläche der Zellenhülle neue Schichten in geringerer oder größerer Zahl ab, und die Hülle erleidet dadurch eine fortschreitende Verdickung. Es begreift sich leicht, daß durch diese Verdickung der Ein- und Austritt der Säfte bedeutend beeinträchtigt wird. Solche Verdickungen treten besonders an den Zellen auf, welche die äußere Fläche der Pflanzen als eine zusammenhängende Schichte, als Oberhaut überziehen. Die äußeren Wandungen der Oberhautzellen sind vorzüglich verdickt, und diese Veränderung steht mit der Verdunstung von Wasser aus den Pflanzen im nächsten Zusammenhange. Je dicker nämlich die nach außen gekehrten Wände der

Digitized by Google

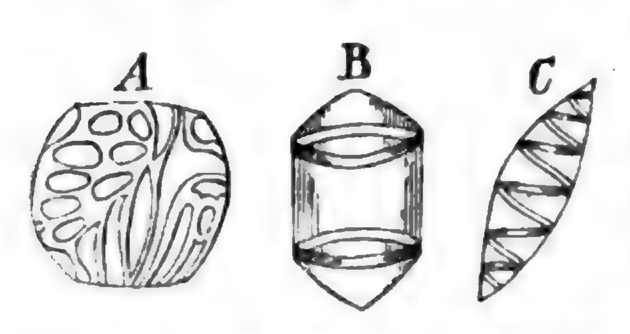
Oberhautzellen werden, desto weniger Wasser geht durch dieselben durch, desto sparsamer wird die Wasserausdünstung an der Oberfläche der Pflanzentheile. Diese dicken Oberhautzellen verhindern daher das rasche Vertrocknen aller Theile und insbesondere der Blätter der Pflanzen; bei lederartigen Blättern erreicht die Verdickung einen besonders hohen Grad. Dazu kommt noch in sehr vielen Fällen die Absonderung einer ganz dünnen Schichte von Wachs an der äußeren Oberhautfläche. Diese Schichte erreicht eine größere Dicke besonders bei manchen Früchten, wie bei Zwetschen und Aepfeln. Sie verhindert natürlich den Durchgang von Wasser vollständig, und dieser wird dann nur durch einzelne Unterbrechungen der Oberhaut, durch die Spaltöffnungen, vermittelt.

In andern Fällen geschieht die Auflagerung neuer Schichten nicht an allen Punkten der Zellmembran in gleichem Maaße, und es tritt hier nie, wie bei der Oberhaut, der Zeitpunkt ein, wo die dicke Zellwand gar keine oder nur sehr wenig Flüssigkeit mehr durchtreten läßt. Einzelne Stellen der Zellenmembran bleiben nämlich immer von den Auflagerungen frei, und durch diese geschieht dann der Austausch der Säfte mit den angränzenden Geweben; diese Stellen liegen daher immer in der Richtung, in welcher der lebhafteste Austausch stattfindet. Wenn die Auflagerungen eine sehr bedeutende Dicke erreichen, so führen enge Kanäle zu den unveränderten Punkten der ursprünglichen Zellenhülle, und wo zwei Zellen aneinander gränzen, entsprechen sich diese sogenannten Porenkanäle aufs genaueste. Die Verdickung der Wandungen trifft also bei einer Zelle immer mit der verminderten Theilnahme an der pflanzlichen Stoffbildung zusammen, und diese hängt vielfach gerade von jener Verdickung ab. Auf der andern Seite bewirken aber die dünn bleibenden Stellen der Membran, daß noch immer Zellsaft durch die Wandungen ohne große Hindernisse ein- und austreten kann. So kommt es, daß gerade dickwandige Zellen, nämlich die langgestreckten Zellen des Holzes

Digitized by Google

unserer Bäume den Saft führen, welcher während der ganzen Zeit des Wachsthumes und vorzüglich im Frühjahre von den Wurzeln durch Stamm und Zweige in die Blätter steigt. Allerdings zeigen auch bei dieser Fortleitung des Saftes die dünnwandigeren, jüngeren Zellen die größte Energie, und je älter und dickwandiger die Holzzellen werden, desto weniger nehmen sie an der Leitung des aufsteigenden Saftes Theil.

Diese Auflagerung von Verdickungsschichten könnte leicht als ein blos mechanischer Proceß, als ein einfacher Absatz fester Substanzen aus dem Zellsafte angesehen werden. Aber bei genauerer Untersuchung zeigt sich, daß diese Absätze, wenn nicht immer, doch in den meisten Fällen einem bestimmten Gesetze der Anordnung und Gestaltung folgen. Die Lücken in der Verdickungsschichte sind bisweilen nur vereinzelte, rundliche Stellen, und werden dann Tüpfel oder fälschlich Poren der Zellenhülle genannt. Sie stehen öfters ohne weitere Ordnung; aber in anderen Fällen (a) gelingt es, eine bestimmte, und zwar eine spiralförmige Anordnung der Tüpfel nachzuweisen. Diese Anordnung tritt noch viel mehr hervor, wenn die Verdickungsschichte nicht blos durch kleine, rundliche Stellen, sondern durch längere Spalten unterbrochen wird. Die Auflagerung erscheint jetzt immer mehr unter der Form platter Bänder. Diese sind zum Theil in unregelmäßiger Weise netzförmig unter einander verbunden (A); zum Theil stellen sie geschlossene Ringe (B) und auf der höchsten Stufe der Ausbildung regelmäßige Spiralfasern (C) dar. Hier erscheint zum ersten Male die Spirallinie als die Norm für die Anordnung organischer Stoffe. Sie wird im ferneren Verlaufe der Untersuchungen noch öfters theils in der festen Gestalt, theils in den Bewegungen der pflanzlichen und thierischen Organismen sich ausgeprägt finden. Ein Grund für diese spiral-



förmige Anordnung der Verdickungsschichte hat bis jetzt nicht einmal vermuthet werden können; eben so wenig ist es möglich gewesen, einen bestimmten Zusammenhang der Spiralfaser mit der stoffbildenden Thätigkeit der betreffenden Zellen nachzuweisen.

Dieses Gesetz der Spirale beherrscht die Gestaltung organischer Stoffe im Innern der Zelle. Aber auch die äußere Gestalt der Pflanzenzelle bleibt nicht dieselbe, wie im Anfange ihrer Bildung. Fast immer wird die ursprüngliche Kugelform der Zelle im weiteren Gange der Entwicklung verlassen. Einmal vermögen die Zellen eines Pflanzenorgans, nachdem sie ihre bestimmte Begränzung erhalten haben, sich bei ihrem weiteren Wachsthume nicht nach allen Seiten gleichmäßig auszudehnen. Kuglige Zellen berühren sich nur an einzelnen Punkten; und wenn sie sich nun weiter ausdehnen, so bleibt ihr Wachsthum an diesen Punkten zurück, und in den Zwischenräumen treiben sie stumpfe Ecken hervor. Soll also der Raum völlig ausgefüllt werden, so müssen die kugligen Zellen sich in vielflächige, polyedrische umwandeln. Aus diesem Drucke, den die wachsenden Zellen gegenseitig auf einander ausüben, geht die erste Veränderung derselben hervor, nämlich der Verlust der gleichförmigen Krümmung ihrer Flächen, die Begränzung durch unregelmäßig gekrümmte oder ebene Flächen. Ueberdieß aber bleibt auch die Zelle nicht immer in allen Richtungen gleichmäßig ausgedehnt; aus der Kugel gehen cylindrische, langgestreckte und tafelartige, platte Formen hervor. Es ist in sehr vielen Fällen schwer, diese Abweichungen mit dem Stoffwechsel, überhaupt mit den Thätigkeiten der Zellen in nähere Beziehung zu setzen. Doch gibt es einige Punkte, von welchen Licht auf den ganzen Kreis dieser Veränderungen geworfen wird. Langgestreckte Zellen scheinen in den meisten Fällen auf eine bestimmte, lineäre Richtung des Saftstromes in der Pflanze hinzuweisen. Die Holzzellen bieten für diesen Zusammenhang eines der besten Beispiele dar.

Digitized by Google

Im Holze unserer Bäume steigt, wie wir schon öfters bemerkt haben, der Saft in die Höhe, und die Organe, durch welche dieses Aufsteigen geschieht, sind lange, schmale, an beiden Enden spitz ausgezogene, dickwandige Schläuche, die sogenannten Prosenchymzellen. Die Längenaxe dieser Zellen entspricht der Richtung, in welcher sich der Saft bewegt. Der Bau der Prosenchymzellen wiederholt sich in noch ausgezeichneterem Maaße an den schmalen, sehr langen, faserartigen Zellen, welche den Bast der Bäume zusammensetzen; aber es fehlt hier noch an dem Nachweise eines Saftstromes, welcher der Längenaxe der Zellen entspricht. Es darf wohl vermuthet werden, daß auch hier ein Zusammenhang zwischen der Zellenform und der Saftströmung besteht. Aber außer dieser Beziehung zum Saftstrom scheint doch die Umwandlung der Zellen noch durch ein anderes, in der Gestalt der ganzen Pflanze ausgeprägtes Gesetz bestimmt zu werden. Wo sich nämlich ausgebildete Wurzeln, Stengel und Zweige befinden, da nimmt ein großer Theil der Pflanze eine überwiegende Ausdehnung in linearer Richtung an; und die Zellen, welche jene linearen Organe überwiegend zusammensetzen, vereinigen und strecken sich gleichfalls in der Richtung der Längenaxe der Pflanze. Für den Nachweis dieses Gesetzes könnte schon die Anführung der Holz- und Bastzellen genügen; aber es drückt sich noch deutlicher in den Gefässen der Pflanze aus.

Wenn eine Zelle zur langgestreckten und prosenchymatösen Zelle oder zur Bastzelle wird, so behält sie ihre ursprüngliche Begränzung bei; sie dehnt sich nur in Einer Richtung überwiegend aus. Die langen Schläuche hingegen, welche im Holz unserer Bäume enthalten sind und als Gefässe bezeichnet werden, gehen nicht aus Einer Zelle hervor, sondern entstehen dadurch, daß eine Reihe von länglichen Zellen sich unter einander verbinden und durch Verlust ihrer Querscheidewände zu Einem Kanale zusammenfließen. Auf ihrer innern Oberfläche treten Verdickungsschichten in allen Formen auf. Wir vermögen diese

Umwandlung mit keiner besonderen Thätigkeit der Gefässe in Beziehung zu setzen; die Funktion der Gefässe ist uns vielmehr völlig unbekannt. In der Regel führen sie ohne Zweifel Luft; und die frühere Ansicht, daß sie Saft führen, ist nur in so weit begründet, als bei bedeutender Ueberfüllung der Holzzellen mit Saft auch in die benachbarten Gefässe Flüssigkeiten überzutreten scheinen. Die Gefässe der Pflanzen können ebensowenig mit den Blutgefässen, als mit den Nerven oder Muskelfasern der Thiere verglichen werden. Bei dieser völligen Unkenntniß ihrer physiologischen Bedeutung bleibt nichts übrig, als darauf hinzuweisen, wie genau ihre Ausbildung mit dem Vorhandensein ausgeprägter Wurzeln und Stengel zusammenhängt. Den Algen, Pilzen und Flechten fehlen mit Wurzel und Stengel auch die Gefässe. Bei den Moosen, wo ein Stengel zum ersten Male in der einfachsten Weise auftritt, nähern sich die Zellen des Stengelchens schon der Form und Anordnung der Gefässe. Aber bei allen Stengelpflanzen, bei den Farnkräutern, Schafthalmen und Bärlapmoosen so gut als bei den Geschlechtpflanzen, sind ausgebildete Gefässe vorhanden. Dieß ist die morphologische Bedeutung der Gefässe; sie weisen durch ihr Auftreten auf Eigenthümlichkeiten in der Gestalt der ganzen Pflanze hin.

Dieser morphologische Sinn der verschiedenen Zellenformen zeigt sich auch in den tafelförmigen Zellen wieder. Sie finden sich insbesondere in der Oberhaut, welche als eine einfache, aus festwandigen Zellen zusammengesetzte Schichte die Oberfläche der höheren Pflanzen überzieht. Entsprechend ihrem Zwecke, breitet sich diese ganze Schichte flächenartig aus, und der Anordnung des Ganzen folgen die einzelnen Zellen, indem sie theils nach der Fläche besonders fest mit einander zusammenhängen, theils in der Mehrzahl der Fälle selbst sich überwiegend nach der Richtung der Fläche ausdehnen.

Es ergibt sich aus diesen Andeutungen, wie weit man noch davon entfernt ist, die Gesetze des Zusammenhanges der einzelnen pflanzlichen Zellenformen mit dem allgemeinen Stoffwechsel oder

Digitized by Google

der allgemeinen Gestalt der Pflanze genau zu kennen. Nur so viel kann als Schluß aus den mitgetheilten Thatsachen gezogen werden, daß die verschiedenen äußeren Formen der Pflanzenzellen sich nicht aus dem Leben der einzelnen Zelle, sondern allein aus ihrer Verbindung zum Gesammtorganismus der Pflanze begreifen lassen. Der gegenseitige Druck der Theile, die Bewegung der Säfte und die allgemeine Gestalt der Pflanze sind hier jedenfalls von größter Wichtigkeit. Daher kommt es auch, daß in diesen äußeren Zellenformen unmittelbar keine solchen umfassenden Gesetze sich ausprägen, wie in der Auflagerung von Verdickungsschichten an der innern Zellenoberfläche.

Der Bau der einzelnen Zellen bezieht sich aber nicht blos auf die Eine, chemische Seite des Pflanzenlebens; auch die mechanischen Verhältnisse stehen mit jenem Bau in genauem Zusammenhange. Insbesondere kommen hier die Verdickungsschichten in Betracht, welche sich auf der innern Oberfläche der Zellen und Gefässe ablagern. Je einfacher und dünner die Zellenmembran ist, desto mehr gibt sie natürlich äußern, verschiedenen Eindrücken nach; sie ist biegsamer und schrumpft beim Vertrocknen rascher zusammen. Die Auflagerung von Verdickungsschichten gibt der Zellenhülle einen größern Widerstand gegen äußeren Druck oder Stoß und gegen das Einschrumpfen durch Verlust der Feuchtigkeit. In diesen beiden Beziehungen wirken die Verdickungen der Zellenhülle an verschiedenen Punkten der Pflanze ein.

Die Festigkeit, welche die Pflanze im Allgemeinen bedarf, wird ihr durch die Verdickung der Zellwandungen gegeben. Insbesondere gehört hieher der innere Halt, ohne welchen das Höhewachsthum des Stengels überhaupt und namentlich des Stammes der Bäume nicht gedacht werden kann. Das Holz, welches an unsern Bäumen den festesten Theil darstellt, besteht aus langgestreckten, prosenchymatösen Zellen und aus Gefäßen, und diese beiden Arten von Formelementen zeichnen sich durch die Verdickung ihrer Wandungen aus. Je älter das Holz wird, desto

Digitized by Google

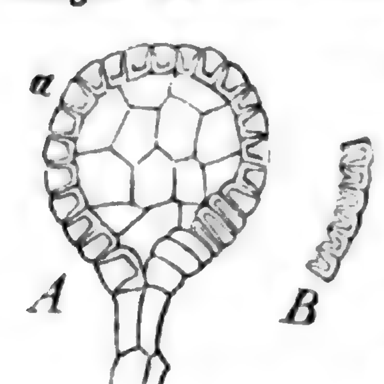
mehr nimmt die Dicke der Holzzellenwände zu, und desto mehr steigt in demselben Verhältnisse die Festigkeit und Härte des Holzes. Die dicken Wandungen der Zellen und Gefässe geben also dem Holze unserer Bäume den innern Zusammenhalt, welcher nöthig ist, damit ein Stamm bis zu bedeutender Höhe sich senkrecht erheben kann. Wo solche feste Theile wenig oder gar nicht entwickelt sind, da sinkt der Stengel unter dem Gewichte seiner eigenen Masse, seiner Zweige und Blätter zusammen; er kriecht am Boden hin und vermag öfters nur seine Spitze über die Erde senkrecht zu erheben. Dieser innere Bau begründet aber auch die Brauchbarkeit des Holzes zu Werken der menschlichen Kunst; wo das Holz zum Bauen benützt wird, da dient es durch seine Festigkeit zur Ausführung der menschlichen Zwecke. Dem Holze steht in dieser Beziehung der Bast gegenüber. Er bleibt an innerem Zusammenhalt seiner Theile nicht hinter dem Holze zurück; aber seine langen, faserartigen Zellen sind nicht hart und spröd, wie die Holzzellen, sondern von großer Biegsamkeit und Zähheit. Der Bast einiger Pflanzen wird daher vorzüglich zu menschlichen Gewändern, bei uns zur Leinwand verarbeitet.

Außer dieser allgemeineren Bedeutung der dicken Zellenwände für die Härte des Holzes und die Zähigkeit des Bastes werden Zellen mit verdickten Wandungen noch in vielen einzelnen Organen angetroffen, wo den Theilen eine besondere Festigkeit zukommt. So setzen Zellen mit inneren Verdickungsschichten das harte Eiweiß mancher Samen und die steinartige Schale mancher Früchte, wie der Mandeln, zusammen. Bisweilen wird in solchen Fällen die Dicke der Zellenwandungen noch erhöht durch eine feste Substanz, welche von den Zellen abgesondert und in ihren Zwischenräumen abgelagert wird, durch die Intercellularsubstanz. Bei Samen und Früchten finden sich überhaupt die höchsten Grade der Festigkeit; es scheint hiebei der Schutz des jungen Keimpflänzchens besonders vorgesehen zu seyn. Endlich müssen hier noch die Oberhautzellen erwähnt werden, deren

Digitized by Google

verdickte Wandungen nicht blos die Verdunstung des Wassers hemmen, sondern auch auf mechanische Weise die Pflanze gegen äußere Eindrücke schützen.

Die verdickten Wände der Zellen und Gefässe vermitteln also die Festigkeit und den innern Zusammenhalt der ganzen Pflanze und ihrer einzelnen Theile. Aber die Auflagerungen der Zellwände wirken auf diese Weise nicht blos, während eine Pflanze unverändert und in Ruhe bleibt, sondern auch gewisse Bewegungen der Pflanzen werden durch dieselben wesentlich bestimmt. Wir sprechen hier nur von den passiven Bewegungen, welche einzelne Pflanzentheile aus rein physikalischen Ursachen ausführen, und zwar vorzüglich von den Ortsveränderungen, die das Austrocknen der Organe zur Folge hat. Dahin gehört namentlich das Aufspringen vieler kapselartigen Früchte, um die Samen auszustreuen, das Zerreißen der Sporangien der Kryptogamen und der Staubbeutel der Geschlechtspflanzen, um Sporen oder Pollenkörner auszustreuen. Das Aufspringen der kapselartigen Früchte geschieht wohl meistens blos dadurch, daß die äußersten Schichten der Fruchthülle früher als die innern vertrocknen und einschrumpfen. Aber bei den kleinen Sporangien der Farnkräuter tritt die Verdickung von Zellwandungen als eine wesentliche Bedingung des Aufspringens hinzu.



Um jedes solches Sporangium (A) läuft ein Ring von Zellen (a) herum, deren Wandungen außen dünner und innen dicker sind. Wenn die Sporen ihre Reife erreicht haben, so vertrocknet und verschrumpft das Sporangium; aber das Verschrumpfen des Ringes geschieht nicht gleichförmig. Die äußeren Wandungen der Ringzellen verschrumpfen stärker als die inneren, und so kommt es, daß der Ring sich streckt, ja sogar auf seiner äußeren Seite concav wird (B). Dieser Lageveränderung des Ringes folgt auch die Kapsel; ihre Wandungen reißen ein, und die Sporen werden ausgestreut.

Digitized by Google

Was hier durch den Gegensatz der äußern und innern Zellenwände bewirkt wird, das geschieht bei den Staubbeuteln der Geschlechtpflanzen in der Regel durch zwei verschiedenartige Zellenlagen in den Wandungen des Beutels. Unter der Oberhaut liegt hier eine einfache oder mehrfache Schichte von Spiralfaserzellen; diese schrumpft beim Vertrocknen viel weniger ein, als die äußerste Zellenlage, und indem die letztere sich zusammenzieht, stülpt sich die Wand des Beutels nach außen um, die Höhle wird geöffnet und der Blüthenstaub ausgeschüttet.

Es läßt sich erwarten, daß eine fortschreitende Kenntniß der Pflanzenstruktur auch immer neue Beziehungen zwischen den mechanischen und chemischen Verhältnissen der Pflanze einerseits und dem Baue der Zellen andrerseits zu Tage fördern wird. Was sich bis jetzt in dieser Beziehung vorbringen läßt, sind blose Bruchstücke; aber es reicht doch hin zu beweisen, daß die Saftbewegung, die Beweglichkeit und Festigkeit der Pflanzentheile mit der äußern Form und mit dem innern Verhalten der Zellen in genauer Beziehung stehen. Es entsteht jetzt die Frage, ob man auch im Stande sei, in dem Baue einzelner Zellen die äußeren Bedingungen und passenden Vorrichtungen für diejenigen Bewegungen der Pflanzen aufzufinden, welche durch äußere und innere Reize, nicht durch das Wachsthum oder durch physikalische Vorgänge hervorgerufen werden.

Die Bewegung der einzelligen Diatomeen und der mehrzelligen Oscillatorien ist bis jetzt aus dem Baue dieser Organismen durchaus nicht aufgeklärt. Eben so wenig ist man im Stande, die Bewegungen des Stengels, der Blätter und Blüthen gegen das Licht, die Bewegungen der Blätter im Schlaf oder auf äußere Reize mit dem Bau bestimmter Zellen in Beziehung zu setzen. Die gelenkartigen Anschwellungen z. B., welche bei den Mimosen am Ursprunge des Blattstieles liegen und die Bewegung der Blätter vermitteln, enthalten außer einem durchlaufenden Strange von Gefäßen und Prosenchymzellen nur zahlreiche von der ursprünglichen Form wenig abgewichene, chloro-

Digitized by Google

phyllhaltige Zellen. Von diesen geht wahrscheinlich die Bewegung vornehmlich aus; aber man entdeckt an ihnen durchaus nichts, woraus man auf ihre Bewegungsfähigkeit zum voraus schließen könnte, nichts, was nur in Zellen solcher bewegungsfähigen Organe und in diesen immer sich vorfände. Die Bewegungen der Pflanzen geschehen also gewiß durch keine Muskelfasern. Während nun diese völlige Abwesenheit besonderer, für die Bewegung eigenthümlich organisirter Zellen bei allen Bewegungen ganzer Pflanzen oder einzelner Organe unzweifelhaft erscheint, kommen merkwürdige Bewegungsorgane an dem Inhalte mancher Zellen niederer Gewächse vor.

Die Sporen der Algen entstehen, wie früher gezeigt worden ist, durch freie Zellenbildung in Mutterzellen. Bei ihrem Austreten aus dem Mutterorganismus zeigen diese Sporen bei sehr vielen, wenn nicht bei allen Algen eine Bewegung, die vielfach mit thierischen Bewegungen verwechselt worden ist. Das Umherschwimmen der Sporen dauert fort, bis sie sich an einer dunkeln Stelle festsetzen und zu keimen, d. h. zu einer unbeweglichen Pflanze auszuwachsen anfangen. Aber die Bewegung geschieht nicht unmittelbar durch die gewöhnliche Zellenmembran, sondern durch einen Haufen von feinen Cilien, von wimperartigen Härchen, welche meist in größerer oder geringerer Anzahl auf dem einen Ende der länglichrunden Spore sitzen. Diese Wimper sind keine eigenen Organe, sondern nur dünne, haarförmige Auswüchse der Zellenmembran. Aehnliche Bildungen kommen an den spiralförmig gewundenen Fäden vor, welche man jetzt in allen Antheridien der Kryptogamen, sowohl bei den Moosen, als bei den Farnkräutern und Schafthalmen entdeckt hat. Auch diese Fäden bilden sich in dünnwandigen Zellen der Antheridien aus. Schon während ihres Aufenthaltes in den Zellen fangen sie bisweilen an, sich zu bewegen; aber sobald sie aus denselben austreten und in Wasser gelangen, wird ihre Bewegung lebhaft. Das eine Ende des Fadens ist dünner als das andere; an jenem scheinen zwei

Digitized by Google

oder mehrere Cilien zu sitzen, und jenes scheint auch bei der Bewegung immer voranzugehen. Je nach der Windung der Fäden ist auch ihre Bewegung verschieden, und zwar theils nur eine rotirende, theils eine fortschreitende; aber immer hat die Bewegung ihren Grund in den Schwingungen der feinen Wimper des Fadens. Die Bewegung wird also bei diesen Fäden durch dieselben Gebilde vermittelt, wie bei den Sporen der Algen. Während wir aber die Bedeutung der Sporen kennen, fehlen uns noch fast alle Thatsachen, aus denen auf die Funktion der spiralförmigen Fäden der Kryptogamen geschlossen werden könnte. Vielleicht tragen sie zu einer Art von geschlechtlicher Fortpflanzung der höheren Kryptogamen als der eine, dem Blüthenstaube entsprechende Faktor bei.

Die Schwingungen dieser Wimper rühren auf keinen Fall von Strömungen in der Flüssigkeit her, welche die Sporen oder die Spiralfäden umgibt. Aber von der eigentlichen Ursache jener Schwingungen wissen wir so gut als gar nichts. Man könnte zu ihrer Erklärung an elektrische Anziehungen und Abstoßungen denken; aber es scheint das Motiv zu den Wimperbewegungen vielmehr ein inneres, organisches zu sein. Wie Stengel, Blätter und Blüthen sich vermöge einer inneren Kraft der Bewegung dem Lichte zuwenden, so muß auch in den beschriebenen Cilien eine organische Bewegungsfähigkeit angenommen werden. Ob diese Kraft in den Cilien durch äußere Reize, durch Licht, Wärme, Stoß, Elektricität angeregt und zur Ausführung bestimmter Effekte veranlaßt wird, oder ob allein und ausschließlich innere Ursachen ihre Wirksamkeit bedingen, dieses läßt sich durchaus nicht entscheiden; wir haben von beiden Weisen der Pflanzenbewegung früher Beispiele beigebracht. Von allen Bewegungen, welche im Pflanzenreiche vorkommen, unterscheiden sich jedoch die Wimperbewegungen dadurch, daß sie durch eigene Vorrichtungen, durch Auswüchse der äußeren Zellenoberfläche ausgeführt werden. Hierin gleichen sie den thierischen Bewegungen, und es ist sogleich

Digitized by Google

hier die Bemerkung nothwendig, daß auch im Thierreiche Wimperbewegungen in großer Verbreitung vorkommen. Diese Bewegungen hat also Thier und Pflanze gemeinschaftlich; aber während sie wohl keinem einzigen Thiere fehlen, kommen sie im Pflanzenreich nur ausnahmsweise und in den niedersten Gruppen vor.

Die Wimper an den Sporen und spiralförmigen Fäden mancher Kryptogamen sind das einzige Beispiel, wo eine Pflanzenzelle oder ihr Inhalt schon an und für sich zu einer bestimmten Thätigkeit eigenthümlich organisirt erscheint. Die Verdickungen der Zellwände und die verschiedenen Zellenformen stehen zwar auch mit den Thätigkeiten der Pflanzen in genauer Beziehung; aber sie beziehen sich doch weniger auf die Art, als auf den Grad und die Richtung der Thätigkeiten, welche sie vermitteln; durch sie wird z. B. nicht die Beschaffenheit und Umwandlung des Saftes, sondern nur die Energie und Richtung seines Stromes bedingt. Daher können dieselben Zellen- und Gefäßformen sowohl in der oberirdischen Pflanze als in der Wurzel, sowohl im Stengel als in den Blättern, sowohl in den Fortpflanzungsorganen als in den übrigen Theilen der Pflanze vorkommen. Die Eigenthümlichkeit der Funktion hängt wenig mit dem Bau, viel mehr mit der Lage der Zellen zusammen. In dieser Beziehung gelten dieselben Gegensätze, welche wir früher schon bei den allgemeinen Thätigkeiten der Pflanze hervorhoben. Die Wurzelzellen vermitteln die Aufnahme tropfbarflüssiger Nahrungsstoffe. Durch die Zellen der oberirdischen Pflanze werden Gase ausgehaucht und aufgenommen. Die äußersten Oberflächen übernehmen vorzüglich die Verarbeitung, die inneren Theile dagegen die Fortleitung der Säfte. Endlich treten an der Spitze der Zweige die Zellen der Pflanze zur Bildung der Fortpflanzungsorgane zusammen.

Dieses ist im Allgemeinen der Ausdruck der Thatsachen. Aber im Einzelnen und vorzüglich bei höheren Pflanzen werden besondere Zwecke durch besondere Combinationen der Zellen

Digitized by Google

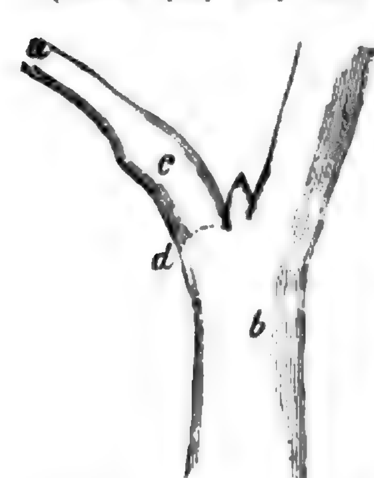
ausgeführt; hiebei kommt nicht sowohl der Bau der einzelnen Zelle, als die Verbindung ähnlicher oder unähnlicher Zellen in Betracht. Dahin gehört die Vereinigung von Gefässen, prosenchymatösen Zellen und Bastfasern zu den Gefäßbündeln, welche bei allen Stengelpflanzen durch Wurzel, Stengel und Zweige bis in die Blätter verlaufen; die langgestreckten Zellen dieser Bündel vermitteln das Aufsteigen des Saftes. Ferner muß dahin die Oberhaut gerechnet werden, welche die Oberfläche der Pflanzen vor zu starker Wasserverdunstung schützt und wahrscheinlich zugleich die Aufnahme und Aushauchung von kohlensaurem Gas und Sauerstoffgas vermittelt. Insbesondere verdienen aber hier die Lücken Erwähnung, welche zwischen den Zellen der Pflanze an vielen Stellen übrig bleiben. In der Regel nämlich berühren sich die Zellen nicht innig nach allen Seiten, sondern sie lassen Zwischenräume zwischen sich, welche mit einander ein verzweigtes, die Pflanze durchziehendes System von weiteren und engeren Intercellulargängen darstellen. In diese Gänge lagert die Pflanze verschiedene Stoffe ab, Gummi, Milchsäfte, Harze und ätherische Oele. Aber insbesondere werden Wasserdämpfe und andere Gase von den Zellen in die benachbarten Intercellulargänge ausgehaucht. So wird durch die Vermittlung offener Kanäle die Ausscheidung innerer Gase und die Aufnahme äußerer Luft ins Innere sehr beschleunigt. Die lufthaltigen Intercellulargänge sind auch an der Oberfläche nicht völlig geschlossen, sondern münden sich bei allen in der Luft lebenden Pflanzen durch eigene Lücken der Oberhaut, durch die Spaltöffnungen nach außen. Es scheint, daß diese Mündungen vorzüglich die Ausstoßung der Wasserdämpfe übernehmen, welche durch die dickwandigen und öfters mit Wachs überzogenen Oberhautzellen schwer oder gar nicht durchdringen.

Auch die Bewegungen der Pflanzen scheinen in den meisten Fällen durch eine eigenthümliche Verbindung verschiedener Formelemente vermittelt zu werden. Man besitzt in dieser Beziehung bis jetzt nur wenige Untersuchungen; aber gerade die Blätter

Digitized by Google

der Mimosen, die reizbarsten unter allen Pflanzenorganen, haben besondere Beachtung gefunden.

An dem Stiele (a) des zusammengesetzten Mimosenblattes befindet sich da, wo er sich am Stengel oder Zweige (b) befestigt, eine wulstige Anschwellung (c), und unterhalb dieser eine schwache Einschnürung (d). In der letzteren bricht der Blattstiel leicht mit glatter Narbe von dem Zweige ab, und man ist gewöhnt, diese Stelle des Blattstieles als **Gelenk** zu bezeichnen. Der Wulst des Gelenkes wird in seiner Mitte von einem dünnen Gefäßbündelstrange durchzogen, und um diesen herum liegen in bedeutender Zahl rundliche, mit mäßig dicken Wänden versehene Zellen. Das Zellgewebe, welches den Gefäßbündel umgibt, zeichnet sich durch seine Neigung aus, sein Volumen zu vergrößern; insbesondere nimmt die Länge eines Stückes Zellgewebe, wenn es herausgeschnitten wird, um etwa $^1/_5$ zu. An dieser Ausdehnung wird das Zellgewebe, so lange es noch in dem Gelenkwulst eingeschlossen ist, durch seine Lage überhaupt, vorzüglich aber durch den straffen, nicht ausdehnbaren, centralen Gefäßbündelstrang verhindert. Schneidet man daher die eine Seite dieses Zellgewebes mit den anhängenden Gefäßbündeln heraus, so kann das Gewebe sich nur an der einen, äußern Seite verlängern und nimmt eben damit eine Krümmung nach innen an. Dieses eigenthümliche Verhalten der einzelnen Theile des Wulstes darf bei der Erklärung der Bewegungen nicht außer Augen gelassen werden. Man hat dasselbe sogar als den einzigen Erklärungsgrund der Bewegungen aufzufassen gesucht. Wenn das Blatt der Mimose sich auf einen äußeren Reiz herabsenkt, so sollte dieß nach **Dutrochet** nur dadurch geschehen, daß an der oberen Seite des Wulstes das Ausdehnungsbestreben der Zellen zunehme und daß diese obere Seite ebendamit das Uebergewicht über die untere, passiv bleibende erhalte. Das Bewegungsorgan würde nach dieser



Digitized by Google

Ansicht an der converen Seite des Wulstes liegen, und es fände hier das Umgekehrte von den thierischen Einrichtungen statt, wo die bewegenden Muskel immer an derjenigen Seite des Gelenkes liegen, nach welcher die Bewegung hingerichtet ist. Aber in der Wirklichkeit verhält sich die Sache nicht nach Dutrochet's Angaben.

Die Bewegung des Mimosenblattes erfolgt auf Reizung nicht der oberen, converen, sondern der unteren, concaven Seite des Gelenkes. Und die letztere ist nicht nur für die äußeren Reize empfänglich, sondern von ihr hängt auch großentheils die Bewegung ab; bei der Senkung des Blattes erschlafft deutlich die untere Seite des Wulstes. Bei der großen Ausdehnbarkeit, welche das Zellgewebe des Wulstes im gewöhnlichen Zustande zeigt, kann es nun nicht fehlen, daß die Erschlaffung der einen Seite auch eine stärkere Ausdehnung der entgegengesetzten Seite zur Folge hat, daß also die Senkung des Mimosenblattes zugleich durch die Erschlaffung der unteren und durch die Ausdehnung der oberen Gelenkseite vermittelt wird. Von dem Vorgange der Erschlaffung haben wir nun freilich gar keine nähere Kenntniß. Wir sind durch die thierischen Muskel daran gewöhnt, bei jeder Bewegung nicht nur eine Verkürzung, sondern zugleich eine Anschwellung und größere Spannung des verkürzten Muskels vorzufinden. Daher erscheint es wunderbar, daß die Bewegung des Mimosenblattes zwar durch eine Verkürzung, aber zugleich durch eine Erschlaffung der einen Gelenkseite erfolgen soll. Indeß stehen die Thatsachen fest, und es bleibt nur weiteren Untersuchungen überlassen, den inneren Mechanismus jener Bewegungen näher aufzuklären. Und jedenfalls läßt sich aus den Beobachtungen, welche am Mimosenblatte angestellt worden sind, der Schluß ziehen, daß allen pflanzlichen Bewegungen nicht eine Streckung der converen, sondern eine Verkürzung und Erschlaffung der concaven Seite zu Grunde liegt. Wenn insbesondere das Sonnenlicht Bewegungen der Stengel, Blätter

Digitized by Google

und Blüthen veranlaßt, so geschieht dieses durch die selbständige Beugung der von der Sonne beschienenen Oberflächen.

Wir haben jetzt die besonderen Vorrichtungen durchgegangen, welche im Baue der Pflanzen für einzelne Zwecke des Stoffwechsels oder der Bewegung bestehen. Diese Vorrichtungen sind den einzelnen Thätigkeitsweisen angepaßt, so die Gefäßbündel dem Aufsteigen des Saftes, die Spaltöffnungen der Ausdünstung des Wassers, die gelenkartigen Anschwellungen vieler zusammengesetzten Blätter den Senkungen und Hebungen, welche diese Blätter darbieten. Zu der Ausführung der wesentlichen Pflanzenfunktionen sind indeß alle diese Vorrichtungen nicht nothwendig. Viele Pflanzen nehmen Nahrungsstoffe auf, verarbeiten ihre Säfte durch Athmung, führen Bewegungen aus, ohne Gefäßbündel, Spaltöffnungen oder Gelenke zu besitzen. Diese eigenthümlichen Combinationen von Zellen dienen nur dazu, die Funktion, welche sie vermitteln, schärfer auszuprägen, sie an einen besonderen Punkt des pflanzlichen Organismus zu binden. Dieß muß also festgehalten werden, daß die Pflanze zur Ausführung ihrer Thätigkeiten weder besondere Zellenformen, noch besondere Zellencombinationen nothwendig bedarf, daß vielmehr zu jenen Zwecken die einfachste Zelle hinreicht, wenn sie nur eine Hülle aus stickstoffloser Substanz, einen eiweißähnlichen Inhalt und namentlich auch in ihrem Innern grünen Farbstoff besitzt.

Diese einfachste Form der Zellen findet sich theils in den niedersten Gewächsen, theils in den frühesten Zuständen aller Gewächse ausschließlich vor. Die Staubpilze und unter den Algen die Nostochinen und Diatomeen bestehen während ihrer ganzen Lebensdauer aus einer Masse von gleichartigen Zellen. Aber die große Mehrzahl der Pflanzen bleibt nicht bei diesem einfachsten Baue stehen; sondern aus den ersten einfachen Zellenformen entwickeln sich neue und verschiedenartige Gestalten. Dieß bereitet sich schon bei den höheren Algen, Pilzen und Flechten vor; aber von den Moosen an treten besondere G e w e b e, d. h. besondere Metamorphosen der Zellen hervor, welche in allen

Digitized by Google

übrigen Pflanzen ihre wesentliche Form und Bedeutung beibehalten. Wir haben diese besondern Gewebe schon als Gefässe, als prosenchymatöse Zellen, als Bastfasern und Oberhautzellen geschildert. Es bleibt jetzt nur noch das Parenchym der Pflanzen übrig, ein Gewebe von Zellen, welche sich von der ursprünglichen Zellenform nur wenig entfernt haben. Während die übrigen Gewebe aus der ersten Zellenform in verschiedenen Richtungen herausgetreten sind, während sie besonderen Seiten des Pflanzenlebens dienen, hat das Parenchym mit der ersten Form auch die erste Bedeutung der Pflanzenzellen am reinsten festgehalten; es verbindet alle andern Gewebe unter einander, und ihm kommt vorzüglich die Eigenschaft zu, an verschiedenen Orten die verschiedensten Funktionen zu vermitteln.

Der zusammengesetzte Bau der Pflanzen nimmt demnach sowohl im Pflanzenreiche überhaupt, als im einzelnen Pflanzenindividuum seinen Ursprung aus den einfachsten Verhältnissen, aus einer Masse von Zellen, die in Form und Thätigkeit nur sehr wenig von einander abweichen. Erst aus dem Einfacheren entwickelt sich dann das Zusammengesetztere, und dem zusammengesetzten Baue der höheren Pflanzen entspricht auch eine reichere Gliederung ihrer Funktionen. Hierin prägt sich zum ersten Male das Gesetz aus, daß in der Entwicklung der Pflanzenstruktur Zusammengesetztes auf das Einfache folgt, daß aber jenes nicht geradezu an die Stelle der letzteren tritt, sondern daß eben aus der Umwandlung des Einfachen das Zusammengesetzte hervorgeht. Daß es sich hiebei nicht von einer abstrakten Einfachheit handelt, geht theils aus allen früheren Erörterungen, theils besonders aus dem zusammengesetzten Baue der ursprünglichen Zelle hervor. Das Anfängliche ist nur verhältnißmäßig einfacher, als das Spätere, was sich aus ihm entwickelt. Ein weiteres Gesetz, was hier seine Geltung findet, ist dieses, daß nicht alle Pflanzen über den anfänglichen, einfachsten Bau hinausgehen, daß sich vielmehr die Struktur des ersten Pflanzenkeimes in dem dauernden Verhalten einiger Pflanzen wiederholt. Diese beiden

Digitized by Google

Gesetze werden nicht nur bei der pflanzlichen, sondern auch bei der thierischen Entwicklung überall wieder ihre Geltung finden.

Wir haben von dem inneren Bau der Gewächse jetzt nur noch Eine Seite hervorzuheben. Wenn verschiedene Pflanzen auch die gleichen Gewebe in sich ausgebildet zeigen, wenn in ihnen weder Parenchym, noch Gefäßbündel oder Oberhaut fehlen, so muß darum der innere Bau jener Pflanzen noch keineswegs derselbe sein; es kommt auch hier noch auf die Anordnung der Gewebe an. Aus dieser verschiedenen Anordnung ergeben sich z. B. die beiden großen Abtheilungen der Geschlechtspflanzen.

Der Stengel aller Geschlechtspflanzen wird in der Jugend von der Oberhaut umgeben, und es braucht hier nicht untersucht zu werden, wie in späterer Zeit die Oberhaut theils verloren geht, theils sich auf verschiedene Weise umwandelt. Die Hauptsache ist vielmehr das gegenseitige Verhalten des Parenchyms und der Gefäßbündel, welche die Oberhaut umfaßt. Bei vielen Geschlechtspflanzen, wie bei den Palmen, zeigen die Gefäßbündel keine regelmäßige Anordnung; sie liegen zerstreut in dem allgemeinen Parenchyme. Aber in den Bäumen unserer Zone treten die Gefäßbündel in einen Kreis zusammen; dieser besteht aus zwei Hälften, aus dem äußeren, viel schmäleren Kreise, der von den Bastfasern gebildet wird, und aus dem inneren, breiteren Kreis, der die Gefässe und prosenchymatösen Zellen enthält. Der Kreis der Gefäßbündel scheidet sich auf diese Weise in den Bastkörper und Holzkörper. Durch diese Anordnung hört nun das Parenchym auf, gleichmäßig zwischen die Gefäßbündel vertheilt zu seyn. Die Gefäßbündel stellen sich nicht nur in einen Kreis, sondern sie nähern sich auch einander, und zwar an vielen Stellen bis zu völliger Berührung. Dadurch wird der größte Theil des Parenchyms in zwei Hälften geschieden, in die eine, centrale, welche im Mittelpunkte des Stengels, innerhalb des Gefäßbündelkreises liegt, und in die andere, peripherische, welche den Gefäßbündelkreis außen bedeckt und zwischen

Digitized by Google

diesem und der Oberhaut zu liegen kommt. Die erstere Hälfte wird das Mark, die zweite das Rindenparenchym genannt. Mark und Rinde sind aber nicht vollständig von einander geschieden; sie stehen in Verbindung durch senkrechte, dünne Schichten von Parenchymzellen, welche den Gefäßbündelkreis von innen nach außen durchsetzen, durch die sogenannten Markstrahlen.

Die regelmäßige und die zerstreute Stellung der Gefäßbündel wiederholt sich auch in den Wurzeln der Pflanzen, und bei einer und derselben Pflanze stimmen Wurzel und Stengel in Bezug auf die Stellung ihrer Gefäßbündel wesentlich mit einander überein. Aber es ist nicht möglich, für diese Verschiedenheiten der Stellung einen bestimmten Zusammenhang mit dem allgemeinen Leben oder mit einzelnen Thätigkeiten der Pflanzen aufzufinden. Wie die Spiralbildung in den Verdickungsschichten der Zellen und Gefäße, so ist die verschiedenartige Stellung der Gefäßbündel blos aus Gesetzen der Gestaltung zu begreifen. Die kreisförmige Anordnung der Gefäßbündel zeigt zugleich eine höhere Gesetzmäßigkeit und eine Sammlung gleichartiger Gewebtheile zu einem geschlossenen Ganzen. Dadurch erhalten Pflanzen mit kreisförmig gestellten Gefäßbündeln eine größere Energie des Wachsthumes und der Weiterbildung, als Pflanzen mit zerstreuten Gefäßbündeln. Den letztern fehlt fast durchaus Dickewachsthum und Verzweigung. Die ersteren entwickeln jedes Jahr aus neuen Knospen neue Zweige, und in demselben Maaße verdickt sich ihr Stamm, indem sich fortwährend neue Schichten zwischen Holz und Bast ablagern, die sich theils dem Holzkörper theils dem Bastkörper anschließen. Um diesen Gegensatz zu begreifen, genügt es, die Palmen mit den Bäumen unserer Wälder zusammen zu stellen.

Wenn wir den innern Bau der Gewächse vollständig kennen würden, so müßte er aus zwei Beziehungen begriffen werden können, nämlich einmal aus den Gesetzen der inneren Gestaltung und dann aus den Thätigkeiten, zu deren Vermittlung der innere Bau beiträgt. Die Grundlage des ganzen Baues würde sich

Digitized by Google

aus jenen Gesetzen ergeben, und der Einfluß der organischen Thätigkeiten würde nur einzelne Abänderungen des Baues erklären. Wie weit die Wissenschaft noch von einer solchen durchdringenden Einsicht entfernt ist, hat die bisherige Untersuchung genügend zeigen können. Aber trotz dieser großen Mängel unserer Kenntnisse darf doch schon jetzt als nachgewiesen betrachtet werden, daß weder der innere Bau aus der Thätigkeit, noch diese aus jenem sich vollständig ableiten läßt. Beide folgen ihren eigenen Gesetzen; sie widersprechen sich zwar in keinem Punkte, aber sie gehen öfters gleichsam über einander hinaus, so daß die eigenthümliche Gestalt keine eigenthümliche Funktion, die eigenthümliche Funktion keine eigenthümliche Gestalt neben sich hat. Beispiele hiefür gibt das Auftreten der Spiralfaser in den Verdickungsschichten der Zellen und die große Verschiedenheit des Stoffwechsels in Zellen von demselben Bau, aber von verschiedener Lage. Diese Selbständigkeit des Baues und der Thätigkeit thut indeß ihrer Harmonie keinen Eintrag; beide stimmen zusammen und wirken gegenseitig auf einander ein. Im Innern der Pflanze nun hängt der Bau vielfach von der Thätigkeit ab; die äußere Form der Pflanze wird das gestaltende Princip in der Bildung der Organe des pflanzlichen Lebens mit größerer Freiheit erscheinen lassen. Hier ist das eigentliche Feld zur Verwirklichung der allgemeinen Gesetze der organischen Gestaltung.

---

4) **Die äußere Form der Pflanze.** Wie die verschiedenartigen Gewebe der Pflanzen aus der ursprünglichen, einfachen Zelle durch Metamorphose entstehen, so sind auch alle wesentlichen äußeren Pflanzenorgane schon in den Theilen des Pflanzenkeimes aufs einfachste vorgebildet. Wir unterschieden ja früher, je nach den hauptsächlichen Funktionen, unterirdische und oberirdische Pflanze, Stengel und Blatt; und eben diese Fundamentalorgane fehlen in keinem Embryo einer Geschlechtspflanze.

Wie alles Organische in den ersten Anfängen seiner Existenz, so zeigt auch der erste Pflanzenkeim, so bald er aus der

Digitized by Google

Befruchtung hervorgegangen ist, eine rundliche, kuglige Form; er heißt in diesem Zustand das *Embryokügelchen*. Dieses stellt sehr früh keine einfache Zelle mehr dar, und es wächst fortwährend durch freie Zellenbildung in seinem Innern. Mit diesem Wachsthum verändert es seine äußere Form; es wird länglich, und man unterscheidet an ihm jetzt ein Stengelende (a) und ein Wurzelende (b); aus den Seiten des erstern aber schieben sich ein oder zwei Blätter (c, c) hervor. Wenn der Embryo ausgewachsen ist, so erscheint er noch länglicher, sein Würzelchen ragt deutlich (b) hervor; aber sein Stengelchen (a) ist kürzer und wird durch die ersten Blätter (c, c) vollständig verdeckt. In diesem ausgebildeten Zustande enthält das Keimpflänzchen nicht nur Wurzel, Stengel und Blätter gleich der völlig ausgewachsenen Pflanze; sondern es sind auch die wesentlichsten Charaktere jenen Organen schon im Keime aufgeprägt. Vornehmlich zeigt sich in der Zahl der ersten Blätter ein Unterschied, welcher mit den Stellungen der späteren Blätter und mit dem inneren Bau des Stengels in genauem Zusammenhange steht. Es ist nämlich die Zahl jener *Keimblätter* oder *Kotyledonen* entweder eins oder zwei, und man unterscheidet hienach Pflanzen mit Einem und mit zwei Keimblättern, *Monokotyledonen* und *Dikotyledonen*. Die ersten sind durch *zerstreute*, die zweiten durch *kreisförmig vereinigte* Gefäßbündel ausgezeichnet.

Schon im Embryo steht die *Wurzel* den oberirdischen Pflanzentheilen als das weit einfachere Organ gegenüber. Während aus dem Stengel sich die Blätter als eigenthümliche Bildungen hervorschieben, um die Wechselwirkung mit der Atmosphäre vorzüglich zu vermitteln, sind es an der Wurzel nur die feinsten Enden der Zweige, welche zur Aufnahme von Nahrung besonders dienen. Hier stehen die Zweige ohne weitere Ordnung an den größeren Aesten oder am Stamme der Wurzel; hier bewirkt es in der Gestalt der Zweige und Spitzen keinen Unterschied,

ob sie früher oder später, weiter oben oder weiter unten aus der Wurzel hervorkommen. Als Gesetz läßt sich hier nur dieses auffassen, daß nicht dieselben Zweige und Spitzen während des ganzen Lebens die Funktionen der Wurzel vermitteln, sondern daß immerfort die älteren Organe abgestoßen und neue, lebenskräftige hervorgebildet werden. Es begreift sich hieraus, daß das Auftreten von Wurzeln keineswegs an einzelne Punkte der Pflanze streng gebunden ist. Neue Wurzeln entstehen allerdings vorzüglich an den unterirdischen Theilen der Pflanze; aber diese gehören keineswegs immer zur eigentlichen Wurzel, sondern sind theils unterirdische, horizontal liegende Stengel, wie bei den Gräsern, theils unterirdische Knospen, wie die Knollen und Zwiebeln mancher Gewächse. Unter dem Boden wird die Entstehung von Wurzeln vorzüglich durch Feuchtigkeit und Dunkelheit befördert; indessen können auch an jeder Stelle der oberirdischen Pflanze unter gewissen Umständen Wurzeln entstehen.

Diesem wechselnden Verhalten der Wurzel stehen Stengel und Blätter gegenüber. Die Verbindung dieser beiderlei Organe, die Vertheilung der Blätter am Stengel, die Altersunterschiede der Blätter werden bei jeder Pflanze durch feste Gesetze bestimmt.

Blatt und Stengel sind in Bezug auf die zusammensetzenden Gewebe nicht wesentlich von einander verschieden. Gefäßbündel, parenchymatöse Zellen, Oberhaut mit Spaltöffnungen fehlen weder in dem einen, noch in dem andern Organe. Aber die Anordnung der Gewebe und die allgemeine Gestalt sind in beiden Organen verschieden. Gerundet, cylindrisch, nach oben sich wenig zuspitzend, bildet der Stengel die mittlere Are, an welche sich alle übrigen Theile der Pflanze anschließen. An der Seite des Stengels kommen die flächenartig ausgebreiteten Blätter hervor; ihre Scheibe schließt sich nach vorn rasch in der Spitze ab. Entsprechend diesen äußeren Formen, sind die Gefäßbündel des Stengels entweder in einen Kreis gestellt oder in der cylindrischen Are zerstreut; im Blatte treten sie immer aus einander und

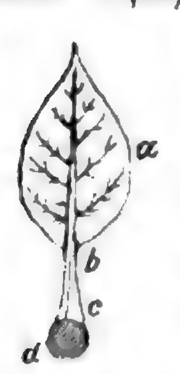
Digitized by Google

durchziehen als Rippen oder Nerven die Fläche des Blattes. Dieser Unterschied der äußeren Gestalt fehlt kaum je bei Stengel und Blättern; nur in selteneren Fällen wird der erstere blattartig breit, wie bei manchen Kaktusarten, oder zieht sich die Blattfläche cylindrisch zusammen, wie bei den Blättern der Nadelhölzer. In diesen Fällen muß die Entwicklungsweise zwischen Stengel und Blatt entscheiden; jener wächst an seiner Spitze unbegränzt weiter; das letztere tritt bei seiner ersten Erscheinung schon mit seinem Ende, d. h. mit seiner Spitze hervor, und wenn es weiter wächst, so geschieht dieses nur dadurch, daß es sich an der Basis nach Länge und Breite ausdehnt.

Stengel und Blatt machen zusammen die oberirdische Pflanze aus; aber das Blatt entwickelt sich erst aus dem Stengel, und es können daher in Ausnahmsfällen, wie bei allen Kaktus, die Stengel ohne wirkliche Blätter bestehen. Wenn das Blatt sich gehörig ausbildet, so wird ihm vorzüglich die Wasserausdünstung und die Funktion der grünen Theile, Kohlensäure aufzunehmen und Sauerstoffgas auszuhauchen, übertragen; der Stengel bleibt das feste, verbindende, saftleitende Organ. Die Funktionen, welche bei blattlosen Stengeln und beim Lager der Pilze, Flechten und Algen von der ganzen oberirdischen Pflanze ohne weitere Unterscheidung ausgeführt werden, sind hier zwischen Stengel und Blatt vertheilt, und insbesondere erscheint das letztere als eine seitliche Bildung, welcher die wichtigsten Zwecke des Stoffwechsels anvertraut werden. Die Vollkommenheit des Blattes wird sich also danach richten, wie weit dasselbe als ein selbständiges Organ sich zum Stengel verhält.

So lange das Blatt noch in dem genauesten Zusammenhange mit dem Stengel steht, treten seine Gefäßbündel im ganzen Umkreise des Stengels aus diesem hervor; das Blatt wird mit seiner Basis stengelumfassend. Aber die Stelle, durch welche die Gefäßbündel des Blattes mit denen des Stengels zusammenhängen, wird immer kleiner, und auf ent-

sprechende Weise schnürt sich der unterste Theil des Blattes zum Stiele ein. Jetzt unterscheidet man nicht mehr blos die einfache, mit dem Stengel verbundene Blattscheibe; sondern das Blatt besteht aus einem äußersten, flächenartigen Theile, aus

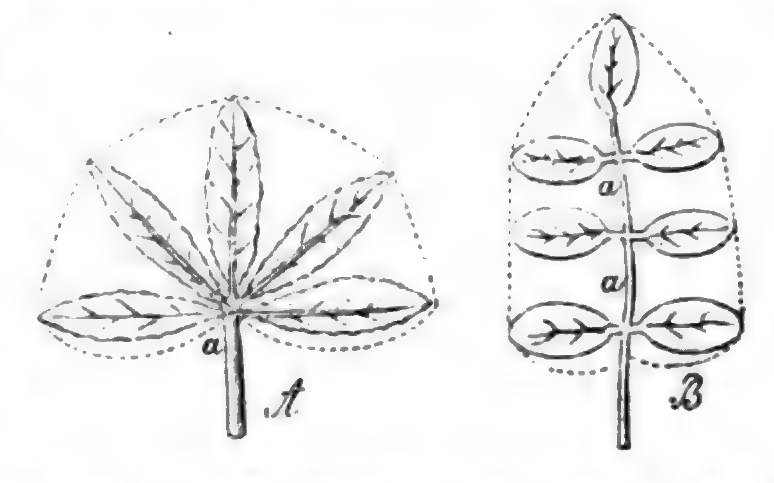


der Scheibe (a), und aus einem innern, halbcylindrischen Theile, dem Stiele (b); nicht selten erweitert sich dieser bei seiner Vereinigung mit dem Stengel (d) wieder, und dann heißt diese Erweiterung die Scheide (c). Scheide, Stiel und Scheibe machen erst mit einander das vollständige Blatt aus; jeder dieser Theile kann fehlen, und zwar am häufigsten die Scheide, seltener der Stiel, am seltensten die Scheibe. Nur das gestielte Blatt behauptet gegenüber vom Stengel einen höhern Grad von Selbständigkeit. Ungestielte, stengelumfassende Blätter sind bei den monokotyledonen Gewächsen, z. B. bei Gräsern, bei lilienartigen Pflanzen, die Regel; bei den Palmen fehlen zwar die Stiele nicht, aber ihre Basis breitet sich von Neuem so sehr aus, daß sie vollständig den Stengel umfaßt. Bei den Dikotyledonen dagegen treten in der Mehrzahl der Fälle gestielte Blätter auf, und auch die Blattscheide umfaßt nur selten, wie bei den Doldengewächsen, den ganzen Umkreis des Stengels; unsere Waldbäume bieten für diese Regel die reichhaltigsten Beispiele dar. Mit diesem Verhältnisse von Blatt und Stengel hängt das Abfallen der Blätter zusammen. Keine monokotyledone Pflanze wirft ihre Blätter ab; sondern bei allen vertrocknen sie am Stengel. Aehnlich verhalten sich viele krautartigen Dikotyledonen; aber die Bäume dieser Abtheilung, welche die Wälder der gemäßigten Zone zusammensetzen, zeichnen sich ohne Ausnahme durch das Abfallen ihrer Blätter am Ende einer Vegetationsperiode aus.

Diese größere Selbständigkeit des Blattes, welche sich in seinem freien Abfallen vom Stengel äußert, beruht auf dem Gelenke, das in jenen Fällen den Blattstiel mit dem Stengel verbindet. Das untere Ende des Blattstieles zeichnet sich näm-

Digitized by Google

lich durch eine Schichte von kürzeren Zellen aus, und es scheint, daß diese beim Vertrocknen des Blattes sich anders zusammenziehen, als die darüber und darunter liegenden Zellen; es scheint, daß aus dieser Ursache der Blattstiel sich mit seinem unteren Ende vom Stengel lostrennt. Eine ähnliche Gelenkbildung wiederholt sich aber auch im Bereiche des Blattes auf verschiedene Weise. So lenkt sich bei den Blättern des Pomeranzenbaumes die Blattscheibe (a) deutlich an dem flächenartig verbreiterten Blattstiele (b) ein; so sind in noch ausgezeichneterem Grade die Abtheilungen der zusammengesetzten Blätter mit ihrem gemeinsamen Blattstiele durch Gelenke verbunden. Die Scheibe des Blattes behält nämlich bei der kleinsten Zahl der Pflanzen einen gleichförmigen, nirgends eingeschnittenen oder vorspringenden Rand. Die Einschnitte sind bisweilen so schwach, daß der Gesammtumriß der Scheibe dadurch nicht beeinträchtigt wird, und man bezeichnet dann die Blätter als gekerbt, gesägt, gezähnt. Aber häufig dringen die Einschnitte tiefer ein, und die Blätter werden eingeschnitten, gelappt. In den höchsten Graden endlich erreichen die Einschnitte den Mittelnerven des Blattes; die ganze Scheibe zerfällt in einzelne, nur durch den gemeinsamen Blattstiel (a) unter einander verbundene Abtheilungen, und je nach der Richtung der Einschnitte wird das Blatt gefingert (A) oder gefiedert (B). Jedes der untergeordneten Blättchen,



welche aus dieser Theilung der Blattscheibe hervorgehen, besitzt ein kleines Stielchen und ist durch dieses an dem gemeinschaftlichen Blattstiele eingelenkt. Wahre zusammengesetzte Blätter

Digitized by Google

kommen indeß nur einer kleinen Minderzahl der Gewächse zu; aber alle Pflanzen, welche zusammengesetzte Blätter besitzen, gehören den Dikotyledonen an. Bei den Monokotyledonen fehlen die Gelenke sowohl am Ursprunge des Blattstieles als im Bereiche der Blattscheibe.

Diese Gelenkbildung stellt im Allgemeinen eine vollkommenere Gliederung der oberirdischen Pflanze dar. Zuerst scheidet sich das Blatt schärfer vom Stengel, dann die Blattscheibe vom Blattstiele oder von dem Mittelnerven, welcher den Blattstiel fortsetzt. Die höhere Stellung der eingelenkten und vorzüglich der zusammengesetzten Blätter drückt sich überdieß in Erscheinungen aus, welche den übrigen Blättern fehlen. Dahin gehören die Schlafbewegungen, vorzüglich aber die Reizbewegungen der Blätter. Die letzteren kommen am entwickeltsten bei der Mimose vor, welche sich zugleich durch ihre gefiederten Blätter und durch die vollkommene Bildung ihrer Gelenke auszeichnet.

Wenn man das Blatt als ein Organ betrachtet, das sich im Pflanzenkeime aus dem Stengel hervorbildet, so wird die höchste Stufe der Blattbildung sicher bei den Dikotyledonen durch Einlenkung der Blattstiele am Stengel erreicht; die niedrigste Stufe bilden die stengelumfassenden, nicht abfallenden Blätter der monokotyledonen Gewächse. Die Analogie, welche hienach zwischen der Lostrennung des Blattes vom Stengel und zwischen der Zahl der Keimblätter besteht, führt jetzt zu einer neuen Seite des Verhältnisses von Axe und Blattorganen, nämlich zu der Blattstellung. Der Charakter der Monokotyledonen und Dikotyledonen beschränkt sich nämlich nicht allein darauf, daß der Embryo dort Ein Blatt und hier zwei Blätter trägt; sondern der Gegensatz jener beiden Gruppen dehnt sich auch weiter noch auf die Anordnung der Blätter am Stengel aus.

Wer oberflächlich Pflanzen betrachtet, der könnte leicht zu der Ansicht kommen, die Blätter seien ohne alle Ordnung am Stengel zerstreut, sie verhalten sich zu diesem ebenso, wie die Wurzel-

Digitized by Google

zweige zur Hauptwurzel. In der That sind noch nicht einmal zwei Jahrzehente verflossen, seit Karl Schimper und Alexander Braun zum ersten Male die Gesetze der Blattstellung verständlich gemacht haben. Seither erst wird eine bestimmtere Gesetzmäßigkeit in der Anordnung der Blätter vom untern Stengelende bis zur Blüthe bemerkt, und Zahlen von bestimmter Aufeinanderfolge drücken die verschiedenen Weisen der Blattstellung aus.

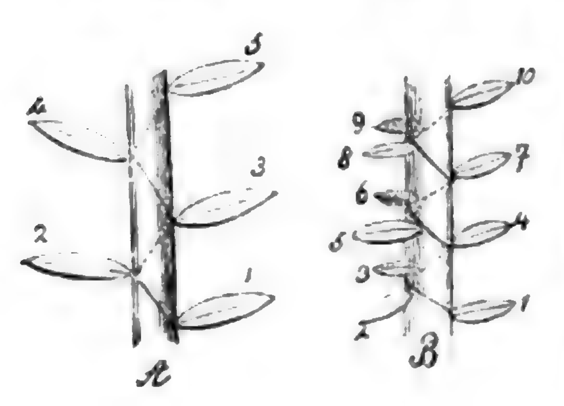
Vor Allem muß hier festgehalten werden, daß, wenn man von unten nach oben eine größere Strecke eines beblätterten Stengels untersucht, für jedes Blatt ein zweites gefunden werden kann, welches gerade über oder unter dem ersten steht; oft befinden sich drei, vier und noch mehr Blätter in Einer solchen Linie. Die Blätter stehen also am Stengel in senkrechten Zeilen, die parallel mit der Längenaxe des Stengels verlaufen. Zunächst handelt es sich nun darum, zu entscheiden, in wie viele Zeilen die Blätter gestellt sind, und wie die Blätter der einen Zeile sich zu denen der andern verhalten. Wir betrachten zuerst diejenigen Fälle, wo nie die Blätter verschiedener Zeilen auf derselben Höhe des Stengels sich befinden, d. h. die Fälle der abwechselnden Blätter; wenn zwei oder mehrere Blätter gleich hoch am Stengel stehen, so werden sie als entgegengesetzte oder als quirlförmige, wirtelständige Blätter unterschieden.

Die einfachste Stellung der abwechselnden Blätter ist die in zwei Zeilen. Die zwei Blattreihen stehen sich hier gerade gegenüber; Blatt 1 liegt gegenüber von 2, und 3 kommt wieder über 1 zu stehen. Nach dieser folgt die Stellung in drei Zeilen, welche den Umfang des Stengels in drei gleiche Abschnitte theilen; hier liegt Blatt 4 wieder über 1. Es könnte nun als das Einfachste erscheinen, wenn auf die dreizeiligen Blätter vierzeilige folgen würden. Aber die Gesetze der Blattstellung richten sich nicht nach den gewöhnlichen Zahlen; auf drei folgt

Digitized by Google

sogleich 5. Ebenso folgt nach 5 die Zahl 8, nach 8 die Zahl 13, nach 13 endlich 21. Bei näherer Betrachtung dieser Zahlen springt eine nähere Beziehung derselben sogleich in die Augen. Wenn auf 2 die Zahl 3 und auf diese zunächst 5 folgt, so ist 5 = 2 + 3; ebenso ist 8, welches nach 5 die nächste Stelle einnimmt, = 3 + 5, 13 = 5 + 8, endlich 21 = 8 + 13. Die Zahl der Blattzeilen, welche am Stengel stehen, steigt also in solcher Progression, daß die höhere Zahl immer die Summe der zwei nächstvorhergehenden, niederern ausmacht. Diese Progression bleibt indeß nicht bei den oben erwähnten Zahlen stehen; sie steigt von 21 noch zu 34, 55, 89, 144, 233 und darüber. Bei ein und derselben Pflanze bleibt sich die Zahl der Blattzeilen nicht immer gleich; aus der einen Zahl kann sich eine andere, meist höhere herausbilden. Aber die beiden Hauptgruppen der Geschlechtpflanzen, die Monokotyledonen und Dikotyledonen, zeigen doch in den Gesetzen ihrer Blattstellung so viel Eigenthümlichkeit, daß bei den ersteren die Zahl 3, bei den letzteren die Zahl 5 in überwiegender Häufigkeit vorkommt.

Die Anordnung der Blätter in Zeilen von bestimmter Zahl begreift nur die eine Seite der regelmäßigen Blattstellung. Bei abwechselnden Blättern stehen auch die einzelnen Zeilen immer in einer festen Beziehung zu einander; die Blätter der verschiedenen Zeilen bilden nämlich mit einander Spirallinien, die in verschiedener Weise an der Oberfläche des Stengels emporsteigen. Der Verlauf dieser Spiralen ist am einfachsten bei den zweizeiligen (A) Blättern. Hier bewegt sich die Spirale so um den Stengel herum, daß sie bei 1 beginnt, dann zu 2 emporsteigt und zu 3, welches wieder über 1 steht, nach einem einmaligen Umgange gelangt. Ebenso erhebt sie sich von 3 durch 4 bis zu 5. Bei den zweizeiligen Blättern bedarf es also nur Eines Umganges der



Spirale, um vom Blatte 1 zu dem nächst über ihm stehenden zu gelangen, und in diesem Umgange werden zwei Blätter berührt. Geht man von dem Abschnitte der Spirale aus, welcher zwischen zwei gerade über einander stehenden Blättern liegt, so begreift dieser Abschnitt Einen Umgang und zwei Blätter. Der Ausdruck für diese Blattstellung ist $^1/_2$, wobei der Zähler die Umgänge, der Nenner die Zahl der Blätter bezeichnet. Diese Anordnung findet sich z. B. bei den Blättern der gemeinen Zwiebel, der Schwertlilie, der Maiblume. Aehnlich ist das Verhalten der dreizeiligen Blätter (B). Das vierte Blatt steht hier immer über dem ersten, das 7. über dem 4., das 10. über dem 7., und in jedem solchen Abschnitte macht die Spirale blos Einen Umgang. Der Ausdruck ist daher $^1/_3$; er paßt auf die Blätter des Flachses, der Riedgräser und Binsen.

Bei der fünfzeiligen Blattstellung und bei allen Stellungen mit noch höheren Zahlen bleiben die Verhältnisse der Spirale nicht so einfach. Wenn die Blätter in fünf Reihen am Stengel stehen, so ist es nicht möglich, alle Blätter in eine Spirale zusammenzufassen, welche von dem ersten bis zum nächstoberen, sechsten Blatte nur Einen Umgang zu machen brauchte. Der kürzeste Weg der hiebei zurückgelegt werden kann, macht vielmehr zwei Umgänge. Der Zwischenraum zwischen zwei auf einander folgenden Blättern, z. B. zwischen 1 und 2 oder 4 und 5, beträgt also nicht $^1/_5$, sondern $^2/_5$ des Stengelumfanges. Der Ausdruck dieser Stellung ist demnach $^2/_5$; d. h. in jedem Abschnitte der Spirale werden fünf Blätter mit zwei Umgängen durchlaufen. So verhalten sich die Blätter sehr vieler Dikotyledonen, z. B. der Rosen und unserer Obstbäume. Vergleicht man hiemit die Stellung der achtzeiligen Blätter, so hat die Zahl der Umgänge in einem Abschnitte zugenommen; sie beträgt jetzt 3, und der Ausdruck wird $^3/_8$. Mit der Zahl der Blattzeilen

Digitized by Google

nimmt fortwährend die Zahl der Umgänge zu; und zwar ergibt sich folgendes Verhältniß zwischen der Progression beider Zahlen:

$^1/_2$, $^1/_3$, $^2/_5$, $^3/_8$, $^5/_{13}$, $^8/_{21}$, $^{13}/_{34}$, $^{21}/_{55}$, $^{34}/_{89}$ u. s. w.

Die Zahlen der Umgänge nehmen also in derselben Weise zu, wie die Zahlen der Blattzeilen; auch dort ergibt sich jede Zahl aus der Summe der beiden vorhergehenden. Aber die Zahl zwei beginnt bei den Blattzeilen die Reihe; bei den Umgängen nimmt sie erst die dritte Stelle ein. Die Progression ist demnach auf beiden Seiten dieselbe; aber sie fängt bei den Umgängen später an, als bei den Blattzeilen.

Manche Mathematiker dürften die Frage aufwerfen, worin denn dieses Zahlengesetz seinen Grund habe, aus welchen höheren Gesichtspunkten es abzuleiten sei, daß die Blattstellung gerade diese und keine andere Progression befolge. Es ist indeß nicht möglich, für die festen Zahlen der Blattstellung irgend weitere Gründe anzugeben. Wo im ferneren Verlaufe unserer Untersuchung bestimmte Zahlen als Norm für die Bildung organischer Körper ihre Anwendung finden, da wird es immer nöthig sein, sich bei dem Bekenntnisse zu beruhigen, es liege hier ein mathematisches Gesetz der organischen Gestaltung vor, dessen Verwirklichung wir bis ins Einzelste verfolgen können, über dessen weitere Ursachen wir uns aber durchaus keine Rechenschaft zu geben vermögen. Bei der Blattstellung trifft ein solches Zahlengesetz zusammen mit dem Gesetz der Spirale; es ist klar, wie diese Curve sowohl in der Ablagerung der Verdickungsschichten an der innern Zellenoberfläche, als in der Anordnung der Blattorgane an der äußern Oberfläche des Stengels bestimmend hervortritt.

Die Stellungsgesetze der abwechselnden Blätter sind so gründlich untersucht, daß eine übersichtliche Darstellung derselben nicht allzuschwer sein konnte. Aber es fehlt noch an einer gleichen Einsicht in die Stellungsgesetze jener Blätter, welche sich auf Einer Höhe am Stengel befinden. Hier gilt vor Allem

Digitized by Google

die ausnahmslose Regel, daß in der Abtheilung der Monokotyledonen weder gegenständige noch quirlförmige Blätter vorkommen. Das einfache Keimblatt dieser Gewächse hat schon kein zweites neben sich, und es scheint, daß aus einer solchen abwechselnden Blattstellung des Keimes sich an der ausgebildeten Pflanze nie eine gegenständige Stellung entwickeln könne. Anders ist es bei den Dikotyledonen. Schon in ihrem Keime stehen die zwei Keimblätter auf Einer Höhe am Stengelchen, und dieses Verhältniß wird beim weiteren Wachsthume theils festgehalten, theils verlassen. Aus der opponirten Stellung der Keimblätter können alle abwechselnden Blattstellungen, vorzüglich aber die Stellung $^2/_5$ hervorgehen. Bei der Minderzahl der Dikotyledonen trägt auch der Stengel der entwickelten Pflanze noch gegenständige oder quirlförmige Blätter. In diesem Falle zeigen auch die einzelnen, auf Einer Höhe stehenden Blattgruppen fast immer eine bestimmte Abwechslung, und zwar so, daß die Blätter der dritten, vierten oder noch höheren Gruppe wieder über die der ersten zu stehen kommen. Mit der Blätterzahl Eines Wirtels nimmt im Allgemeinen auch die Mannigfaltigkeit der Abwechslung zwischen den einzelnen Wirteln zu. Der einfachste Fall ist der, wo bei gegenständigen Blättern die zweite Gruppe mit der ersten abwechselt und die dritte wieder über die erste zu stehen kommt; solche kreuzweise Blätter kommen bei der Syringe, beim Geisblatt, bei der Taubnessel vor.

Der wichtigste Unterschied zwischen Wurzel und Stengel beruht darauf, daß der letzte Blätter trägt, welche in Zeilen und Spiralen gesetzmäßig am Stengel vertheilt sind. Der Wurzel fehlt mit den Blättern auch alle Regelmäßigkeit in der Anordnung und Abtheilung ihrer Zweige. Die Blattstellung hingegen befolgt nicht nur an sich strenge Gesetze; sondern sie prägt auch dem Stengel eine bestimmte Gliederung auf. Je zwischen zwei Blattansätzen liegt nämlich ein Internodium', und die beiden Enden desselben heißen die Knoten des Stengels. Nicht selten bricht der Stengel an diesen Knoten sehr leicht ab; vor-

Digitized by Google

züglich aber bewährt sich die Wichtigkeit der Internodien in den Gesetzen ihres Wachsthumes. Wir haben jetzt überhaupt die dauernden, von der Entwicklung unabhängigen Verhältnisse von Blatt und Stengel untersucht, und es ist nothwendig auf die Fortbildung dieser beiden Fundamentalorgane der oberirdischen Pflanze überzugehen.

Es ist schon als Charakter des Stengels angeführt worden, daß er an seiner Spitze unbegränzt weiter wächst, während mit der ersten Anlage des Blattes auch schon der Endpunkt desselben gegeben ist. Dieses Fortwachsen des Stengels geschieht aber nicht so, daß immer am Ende des vorhandenen Stengels neue Zellengruppen sich ansetzen würden; sondern eben bei diesem Processe sind die Abtheilungen des Stengels, welche wir als Internodien bezeichneten, von größter Bedeutung. Das Stück, welches einem Stengel an seiner Spitze zuwächst, bildet immer schon bei seiner ersten Anlage ein Internodium; so kurz es also auch im ersten Anfange sein mag, so sind doch sogleich schon seine Endpunkte vorhanden. In dieser Beziehung stimmen die einzelnen Stengelglieder mit den Blättern überein; gleich bei ihrer Entstehung ist auch ihre Spitze vorhanden, und sie wachsen nicht durch Verlängerung der Spitze, sondern einfach durch Ausdehnung des zwischen den Endpunkten gelegenen Abschnittes, und zwar vorzüglich durch Streckung der Basis des Internodiums. Aber die Internodien sind doch wieder wesentlich von den Blättern verschieden, weil sie an der Spitze neuen Internodien den Ursprung geben und auf diese Weise das Fortwachsen des Stengels vermitteln. Auch im Bereiche des Stengels fehlt also die Gliederung nicht; sein Wachsthum geschieht in Absätzen, von welchen der eine immer wieder die Unterlage für den folgenden bildet.

Aus dem Wachsthume der Internodien ergibt es sich, daß die Blätter im Anfange einander viel näher stehen, als gegen das Ende der Entwicklung. In der Knospe vorzüglich ist die Länge der Internodien noch überaus gering; die Blattansätze

Digitized by Google

berühren sich beinahe, und die Blätter decken sich dachziegelförmig. Dieser Zustand dauert in den Knospen, welche sich zu Zwiebeln ausbilden, länger an. In der Regel jedoch strecken sich die Internodien der Knospe mehr und mehr, und die Blattansätze rücken weiter auseinander. Doch kommen auch an ausgebildeten Pflanzen Fälle vor, wo zwar die Blätter ausgewachsen sind, wo aber die Streckung der Stengelglieder unterblieben ist; hier stehen dann die Blätter in Büscheln oder Rosetten bei einander. Dahin gehören die zahlreichen Beispiele von Blättern, welche am unteren Stengelende rosettenförmig bei einander stehen und fälschlich als Wurzelblätter beschrieben werden, wie bei den Primeln und Steinbrecharten. Dahin müssen die büschelförmigen Blätter am oberen Stengelende der Kaiserkrone und die Blattbüschel in den Achseln der Dornen von Berberis gerechnet werden. Auf dieselbe Weise erklärt sich die paarige oder büschelförmige Stellung der Nadeln mehrerer zapfentragenden Bäume, wie der Fichte und Lärche. Was aber von solchen Verkürzungen an verschiedenen Stellen des Stengels vorkommt, das erscheint als ausnahmsweise und unbeständig, wenn man es mit der regelmäßigen Verkürzung vergleicht, welche der Stengel oder seine Verzweigungen an ihrem oberen Ende erleiden. In allen Blüthen nämlich rücken die Blattorgane so nahe zusammen, die Internodien sind so kurz, daß die Blätter alle auf Einer Höhe zu stehen scheinen. Aber auch hier fehlen die gewöhnlichen Blattspiralen nicht; sie werden nur fast bis zum Verschwinden verkürzt, weil das Längenwachsthum des Stengels sich überhaupt in der Blüthe abschließt.

Die verschiedene Entwicklung der Stengelglieder weist also schon auf die Bildung der Blüthe hin. Aber ehe wir dieses Organ als den Abschluß der Vegetation weiter schildern, sind noch einige andere Eigenthümlichkeiten in der Entwicklung des Stengels und der Blätter zu untersuchen. Der Stengel wächst bei vielen Pflanzen nicht geradeaus in die Länge; er zeigt öfters zugleich eine spiralförmige Drehung um seine Längenaxe.

Digitized by Google

Dieß ist vorzüglich deutlich bei den Schlinggewächsen. Wenn der Stengel der Winde sich um die verschiedenartigsten Stützen spiralförmig schlingt, so hat dieses nur theilweise seinen Grund in dem Anschmiegen des Stengels an feste Körper, von dem wir früher schon gesprochen haben. Das andere Moment, welches hiebei mitwirkt, ist eine Spiraldrehung des wachsenden Stengels selbst. So lange die Pflanze frei wächst, dient ihre Längenaxe zugleich als Axe der Spirale; aber sobald die Pflanze auf eine Stütze trifft, wählt sie diese, um sich um sie spiralförmig herumzuschlingen. Eine solche Wachsthumsbewegung kommt indeß keineswegs nur bei den Schlingpflanzen vor; auch bei vielen unserer Bäume, z. B. bei den meisten Obstbäumen, bemerkt man an den schieflaufenden Rissen der Rinde, daß der Stamm sich während seines Längenwachsthumes auch um seine eigene Längenaxe gedreht hat. Dieß ist der dritte Punkt, wo die Spirallinie im Leben der Pflanze bestimmend hervortritt. Dieselbe Curve, welche bei der Verdickungsschichte an der inneren Zellenoberfläche beobachtet wird, erscheint in der äußeren Gestalt der Pflanze theils als Grundlage der regelmäßigen Blattstellung, theils als Norm für Wachsthumsbewegungen.

Die weiteren Abweichungen des Stengels von dem gewöhnlichen, senkrecht emporsteigenden Wachsthume brauchen hier nicht weiter untersucht zu werden. Schief ansteigende und horizontale Stengel, herabhängende Zweige verdanken ihre Richtung vorzüglich ihrem Mangel an festem Gewebe, welches sie in Stand setzte, das eigene Gewicht ohne Beugung zu tragen. Ueberdieß scheinen manche Stengel eine bis jetzt noch unerklärte Neigung zum horizontalen Fortwachsen zu haben, und diese sind es hauptsächlich, welche wagerecht unter der Erde verlaufen; dieß sind die Wurzelstöcke vieler Pflanzen, welche lange fälschlich für Wurzeln gehalten worden sind.

Die Entwicklung des Stengels ist im Allgemeinen einförmig; er wechselt von seinem unteren Anfange bis zu seiner Spitze

Digitized by Google

kaum seine Eigenschaften, und nur die regelmäßige Verkürzung der Internodien bezeichnet den Punkt, wo das Längewachsthum aufhört, und wo der Stengel zum Träger der Blüthe wird. Viel schärfer drücken sich die Stufen, welche die Pflanze während ihres Längewachsthumes durchläuft, in den Formen der Blätter aus. Hier ist es nicht Ein Organ, was ununterbrochen weiter wächst und so als ein Ganzes die verschiedenen Stufen verbindet; sondern jeder neuen Stufe entspricht ein neues Blatt; die Blätter der früheren Stufen werden abgestoßen, und so ist es möglich, daß das Blatt jedesmal durch seine Gestalt genau die Stufe ausdrückt, auf welcher sich im Augenblicke die ganze Pflanze befindet. Die Gesetze, welche aus der Entwicklung der Blattformen abgeleitet werden, machen vorzüglich den Inhalt der Lehre von der Pflanzenmetamorphose aus. Wir verdanken Göthe den ersten richtigen Ausdruck der Grundsätze dieser Lehre. Am Ende des vorigen Jahrhunderts erschien sein „Versuch die Metamorphose der Pflanzen zu erklären"; und wie dieser mit den ersten, tiefer gehenden Bestrebungen in der Entwicklungsgeschichte der organischen Körper zusammentraf, so war er ein mächtiger Anstoß für die späteren Untersuchungen, welche in diesem Jahrhundert die Entwicklung der Thiere und der Pflanzen in der umfassendsten Weise aufgeklärt haben.

Die ersten Blätter sind die Kotyledonen, welche schon der Keim der Pflanze enthält. Sie zeichnen sich aus durch einfache Form, durch Dicke und durch die Neigung, in der Mittellinie sich zu theilen. Während nämlich der Mittelnerv aller übrigen Blätter bis zu seinem Ende ungetheilt bleibt, spaltet er sich nicht selten bei den Keimblättern in zwei Hälften, und wenn diese Theilung tief in die Blattfläche eindringt, so kann daraus, wie bei den Keimen der Fichten und Tannen, leicht der Schein von mehr als zwei Kotyledonen entstehen. Was sodann die Dicke der Keimblätter betrifft, so hängt diese mit den Nahrungsstoffen zusammen, welche sich häufig in ihnen ablagern; bei vie-

Digitized by Google

len Pflanzen liefern diese Blätter ganz allein die erste Nahrung des keimenden Pflänzchens.

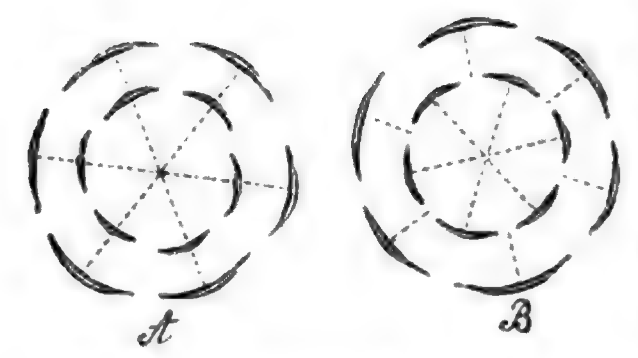
Die Blätter, welche über den Keimblättern folgen, werden als Stengelblätter geschildert. Hier findet die Funktion und die Gestalt der Blätter ihre höchste Entwicklung. Da das Blatt überhaupt dem unmittelbaren Stoffwechsel der Pflanze mit der umgebenden Atmosphäre dient, so erhöht sich seine Thätigkeit mit der größeren Entwicklung seiner Oberfläche. Daher tritt bei den Stengelblättern gewöhnlich die Dicke, das Massige zurück, und die Flächenausbreitung erhält das Uebergewicht. Damit geht Hand in Hand die größte Mannigfaltigkeit der Gestalt, Stielbildung, Einschnitte und Vorsprünge, endlich wirkliche Gliederung der Blattscheibe. Wenn man von den Keimblättern aufsteigt, so nimmt diese Mannigfaltigkeit im Allgemeinen bis zu einer gewissen Höhe am Stengel zu. Von einem bestimmten Punkte an vereinfacht sich aber wieder das Blatt; die Stiele verlieren sich und die Blattscheibe erhält mehr und mehr einen ungetheilten Rand. Mit dieser Vereinfachung nähern sich die Stengelblätter den Blüthen. Die veränderte Gestalt bereitet die Veränderung der Thätigkeit vor, welche in den Blättern der Blüthe auftritt. Nicht selten weichen schon die höchsten Stengelblätter, welche die Blüthen zunächst umgeben, die sogenannten Deckblätter, auch durch ihre Färbung von den übrigen Stengelblättern ab; sie gelten dann öfters, wie das große, weiße Deckblatt der Calla, in der gewöhnlichen Auffassungsweise als ein Theil der Blüthe.

An der Blüthe selbst muß vor Allem die Blüthenhülle unterschieden werden. Niemand bezweifelt, daß die Organe, welche Staubgefässe und Stempel umgeben, für Blätter gehalten werden müssen. Hier findet sich die größte Verkürzung der Internodien; an dem zugerundeten Ende der Axe stehen die Blüthenhüllblätter scheinbar auf Einer Höhe. Aber eine nähere Betrachtung zeigt, daß auch die Blätter der Blüthenhülle nicht

Digitized by Google

auf gleiche Höhe, sondern nur in sehr enge Spiralen gestellt sind. Dazu kommt die eigenthümliche Gestalt und Farbe dieser Blätter. Die Einfachheit, Kleinheit und Ungestieltheit, welche schon die obersten Stengelblätter meistens auszeichnen, sind bei der Blüthenhülle zur Regel geworden. Die Farbe weicht, wie bei den Deckblättern, meistens von der grünen ab; doch kommen auch grüne Blüthenhüllen vor, und besonders der äußerste Kreis der Blüthenhüllblätter behält häufig seine grüne Farbe. Es ist vorzüglich dieser Chlorophyllgehalt in den Blättern des äußeren Kreises Veranlassung geworden, die Blüthenhülle bei vielen Pflanzen in einen äußern, grünen und in einen innern, anders gefärbten Theil zu unterscheiden; jener heißt der Kelch, dieser die Blumenkrone. Dieser Unterschied fehlt besonders bei den monokotyledonen Pflanzen; seine höchste Ausbildung findet er in den Blüthen vieler Dikotyledonen. Wo übrigens der Unterschied von Kelch und Blumenkrone fehlt, da ist es gewöhnlich ein unnöthiges Bemühen, zu unterscheiden, ob die Hülle als Kelch oder als Blumenkrone zu betrachten sei. Die Blüthenhülle ist die unbestimmte Einheit, aus welcher nicht bei allen Pflanzen, aber vorzüglich bei den schärfer gegliederten Dikotyledonen der Gegensatz von Kelch und Blumenkrone sich entwickelt.

Wir haben zuletzt noch die Stellung der Blüthenhüllblätter zu untersuchen. Oft unterscheidet man in der Blüthenhülle zwei Umgänge, wovon der äußere dem Kelch, der innere der Blumenkrone entspricht. Doch kommen auch Fälle von nur Einem Umgang und öfters von mehr als zwei Umgängen vor; sowohl der Kelch als die Blumenkrone können hiebei zwei und mehr Umgänge enthalten. Die Blätterzahl der Blüthenhülle, des Kelches und der Blumenkrone läßt sich bei den Monokotyledonen häufig auf die Zahl 3, bei den Dikotyledonen auf die Zahl 5 zurückführen. Aber die beiden Theile der Blüthenhülle bezeichnen in der Regel nicht zugleich einen wirklichen Abschnitt der Blätterspirale. Nur in wenigen Fällen, z. B. bei der Blüthe



von Berberis (A) stehen nämlich die Blätter der Blumenkrone gerade vor oder innerhalb der äußeren, dem Kelch angehörigen Blätter, so daß also das Blatt, welches die Spirale der Blumenkrone beginnt, gerade über das Anfangsblatt des Kelches zu stehen kommt. In der Regel (B) wechseln dagegen die Blätter der Blumenkrone mit denen des Kelches ab, und die Spirale der Blüthenhüllblätter bedarf hier wenigstens zwei Umgänge, um zu einem Blatte zu gelangen, welches wieder über dem ersten Blatte des Kelches steht. Die Stellungsgesetze, von welchen so eben die Rede war, gelten also überhaupt für abwechselnde Blätter, diese mögen dem Stengel oder der Blüthe angehören. Aber es muß die Frage aufgeworfen werden, ob nicht auch in den Blüthen, ebensogut als am Stengel, opponirte oder wirtelständige Blätter vorkommen können. Diese Frage läßt sich noch nicht mit Sicherheit beantworten; doch ist es nicht unwahrscheinlich daß in einzelnen Blüthen, z. B. in den viertheiligen Kelchen und Blumenkronen der Syringen, die gegenständige Blattstellung des Stengels sich wiederholt; und auch im Allgemeinen ist nicht einzusehen, warum bei den Blattorganen der Blüthe ein Stellungsgesetz ganz fehlen soll, welches bei den Stengelblättern häufig seine Anwendung findet.

In manchen Fällen ist es schwer, die allgemeinen Gesetze der Blattstellung in der Blüthenhülle nachzuweisen; denn es können einzelne Blätter und sogar einzelne Umgänge der Spirale ganz fehlschlagen oder sich in anders gebildete Organe, vorzüglich in die zuckerbereitenden Nektarien umwandeln. Ueber diese Unregelmäßigkeiten der Blüthenhülle kann erst später noch gesprochen werden. Aber gegenüber von allen diesen scheinbaren Abweichungen haben doch die Gesetze der Blattstellung,

Digitized by Google

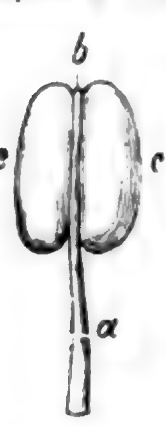
wie sie an den Stengelblättern abgeleitet wurden, auch für die Blüthenhüllblätter ihre volle Geltung.

In anderer Beziehung unterscheiden sich die Blüthenhüllblätter auffallend von den Stengelblättern. Am Stengel kommt es nur ausnahmsweise und besonders bei der opponirten Stellung vor, daß mehrere Blätter mit ihrer Basis unter einander verwachsen; solche verwachsene Blätter finden sich z. B. beim Geisblatte. Aber die Blätter der Blüthenhülle treten fast eben so häufig verbunden als getrennt auf; und zwar sind solche verbundene Blätter sicher eben so häufig abwechselnd, als auf Einer Höhe befindlich. Ob die Verbindung der Blätter schon bei ihrer ersten Entstehung vorhanden ist, oder ob die Blätter erst später verwachsen, läßt sich bis jetzt noch nicht bestimmt entscheiden; doch scheint die Verwachsung eher eine ursprüngliche zu sein. Sowohl Kelch als Blumenkrone erscheinen auf diese Weise verwachsenblättrig; aber in der großen Mehrzahl der Fälle lassen flachere oder tiefere Einschnitte des Randes noch erkennen, daß und aus wie vielen Theilen der Kelch oder die Blumenkrone zusammengesetzt seien. Bisweilen dringen die Einschnitte an der einen Stelle tiefer ein, als an der andern, und es entstehen daraus, wie aus dem Fehlschlagen einzelner Blätter, unregelmäßige Blüthenhüllen. Die häufigste unter den hieher gehörigen Formen ist die zweilippige Blüthenhülle. Diese innigere Näherung und Verbindung der Blüthenblätter hat gewiß darin ihren Hauptgrund, daß der Stengel oder ein Zweig desselben in der Blüthe sein Ende findet. Es sind auch von den Stengelblättern vorzüglich die obersten, welche mit ihrem Grunde unter einander verschmelzen.

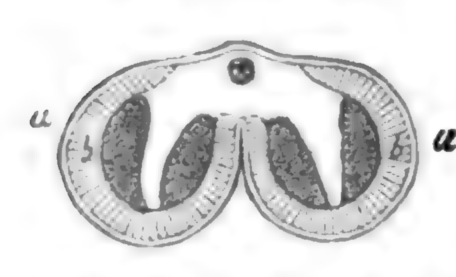
Bis hieher war es nicht schwierig, die Blüthenorgane auf die Gesetze der Blattbildung und Blattstellung zurückzuführen; denn Kelch und Blumenkrone weichen von den Stengelblättern in keinem wesentlichen Stücke ab. Schwieriger ist es, von dem nächstinneren Kreise der Blüthe, von den Staubgefässen nachzuweisen, daß sie gleichfalls nichts als veränderte Blätter

Digitized by Google

sind. Wenn man an den meisten Blättern einen Stiel und eine Scheibe unterscheidet, wenn man in der letzteren wieder zwei, durch den Mittelnerven von einander getrennte, symmetrische Hälften erkennt, so finden sich am Staubgefässe ganz dieselben Theile wieder. Der Blattstiel wird hier dargestellt durch den Staubfaden (a), die Blattscheibe durch den Staubbeutel oder die Anthere, der Mittelnerv durch das Mittelband (b) und die Seitenhälften des Blattes durch die zwei Antherenfächer (c, c). Wenn beim Blatt das Verhältniß von Stiel und Scheibe, sowie die Dimensionen der Scheibe mannigfach wechseln, so entstehen auch für das Staubgefäß aus denselben Ursachen verschiedene Formen. Wichtiger und eigenthümlicher aber, als diese äußere Gestalt, ist der innere Bau der Staubgefässe.

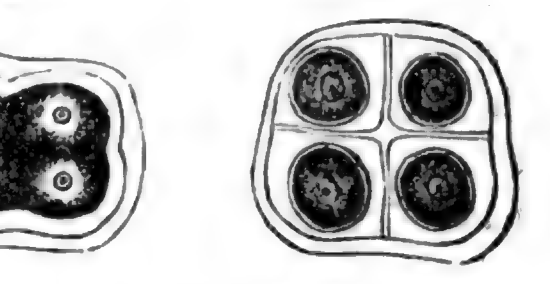


Die Gefäßbündel des Stengelendes setzen sich noch in den Faden und das Mittelband der Staubgefässe fort; aber während sie bei den gewöhnlichen Blättern sich in der ganzen Scheibe ausbreiten, treten sie nicht in die Seitenhälften der Antheren ein. Jede dieser Hälften wird vielmehr eine Bildungsstätte des Blüthenstaubes. Unter der Oberhaut (a) liegt hier nämlich zunächst die schon erwähnte, ein- oder mehrfache Schichte von Spiralfaserzellen (b, b), und der Mittelpunkt der Hälfte wird von einer Zellenmasse eingenommen, welche die Mutterzellen der Körner des Blüthenstaubes (c, c) enthält. Dieser innerste Theil des Antherenfaches wird gewöhnlich durch eine senkrechte Scheidewand in zwei, neben einander liegende Abtheilungen geschieden, so daß die ganze Anthere eigentlich vier, von Blüthenstaub erfüllte Fächer in sich schließt. Der Blüthenstaub oder Pollen besteht im Allgemeinen aus rundlichen Körnern, welche durch die Theilung von Mutterzellen (II. 43) gebildet werden. Bei dieser Entstehung der Pollenkörner finden wieder



Digitized by Google

bestimmte Zahlengesetze ihre Anwendung; denn in jeder Mutterzelle entstehen immer vier Pollenkörner, und zwar scheint sich hiebei die Mutterzelle zuerst nur in zwei Fächer zu theilen, von welchen dann jedes wieder in zwei Abtheilungen zerfällt. In jedem dieser Fächer entsteht Eine Pollenzelle (B), und diese umgibt sich noch mit einer dickeren, mannigfach rauhen, äußeren Haut, welche aus dem Inhalte des Pollenkornes selbst als Absonderungsprodukt erzeugt wird. Die Reifung der Pollenkörner geht bei der großen Mehrzahl der Pflanzen Hand in Hand mit der Aufsaugung und Zerstörung ihrer Mutterzellen. In den Fächern der Anthere liegen zuletzt die freien Körner als ein gelber Staub, den die Staubbeutel bei ihrem Aufspringen ausschütten.



Wie in dem Parenchyme der Keimblätter sich Stärkmehl oder fette Oele als Nahrungsstoffe für das junge Pflänzchen ablagern, so wird die innerste Zellenmasse der Staubblätter zu Zwecken umgebildet, welche der gewöhnlichen Bedeutung des Blattes ferne liegen. Daraus erklärt es sich, daß die Anthere noch viel mehr, als das Keimblatt, sich verdickt und anschwillt, und dadurch von der gewöhnlichen, dünnen, flächenartig ausgebreiteten Scheibe der Stengelblätter abweicht. Mit dieser Umbildung fällt natürlich auch die Theilnahme der Staubgefässe an den gewöhnlichen Blattfunktionen ganz weg.

Im Uebrigen und vorzüglich in der Stellung sind die Staubgefässe den Blättern überhaupt und namentlich den Blüthenhüllblättern ähnlich. Sie stehen in sehr kurzen Spiralen von einem oder mehreren Umgängen; bisweilen mögen sie auch opponirt oder wirtelständig sein. Selten stehen sie gerade vor oder innerhalb der Blumenkronenblätter; sondern meist wechseln sie mit diesen ab, und kommen ebendamit vor die Kelchblätter zu stehen. Ihre Zahl ist bisweilen sehr groß; im Allgemeinen

Digitized by Google

stimmt sie aber mit der Zahl der Blüthenhüllblätter überein, und daher lassen sich auch die Staubgefässe bei den Dikotyledonen meist auf die Zahl 5, bei den Monokotyledonen auf die Zahl 3 zurückführen. Auch bei den Staubgefässen fehlt es gar nicht an Beispielen, wo diese bestimmten Zahlengesetze durch Fehlschlagen einzelner Glieder der Spiralen verdunkelt werden. Endlich können auch die Staubgefässe gleich den Blüthenhüllblättern untereinander verwachsen. Am ausgeprägtesten ist eine solche Verwachsung bei den Staubfäden; bald ist es nur Ein Bündel, wie bei den Malven, bald sind es mehrere Bündel, wie bei den Blüthen der Orange, zu welchen die Fäden sich vereinigen. Ob die Staubbeutel bei den Veilchen und Syngenesisten wirklich verwachsen oder nur an den Rändern zu Einem Cylinder verkleben, muß noch dahingestellt bleiben.

Wir gelangen zum letzten, innersten Kreise der Blattorgane der Blüthe. Die Hülle, welche unmittelbar die kleinen Eier oder Samenknospen einschließt, besteht aus flachen, grünen Organen, welche viel leichter, als die Staubgefässe, für Blätter erkannt werden. Diese Blätter setzen eben den *Stempel* zusammen; sie werden *Fruchtblätter* oder *Carpelle* genannt. An jedem Fruchtblatte müssen wesentlich drei Theile unterschieden werden: der unterste, weiteste, welcher zur Einhüllung der Eichen beiträgt, der *Fruchtknoten* oder *Eierstock* (a), ein mittlerer, stielartig verschmälerter, der *Griffel* (b), und ein oberster, von Neuem etwas angeschwollener, die Narbe (c); der mittlere Theil, der Griffel, fehlt nicht selten. Es mag dahingestellt bleiben, mit welchen Theilen des gewöhnlichen Blattes die einzelnen Theile des Fruchtblattes verglichen werden müssen, ob insbesondere der Fruchtknoten der Scheide, der Griffel dem Stiel und die Narbe der Scheibe der gewöhnlichen Blätter entspricht. Jedenfalls sind die Theile des Stempels fast immer blattartige Organe.

Die Carpellarblätter sind die innersten Blattorgane der

Digitized by Google

Blüthe; sie geben den Samenknospen die nächste Umhüllung. Daher kommt bei ihnen auch die innigste gegenseitige Verwachsung und außerdem die vollkommenste Faltung und Aufrollung der einzelnen Blätter vor. Es gibt bei den Stengelblättern nur wenige Fälle, so bei den Blättern von Saracenia, wo die Blattflächen nicht ausgebreitet bleiben, sondern wo die seitlichen Blattränder sich erheben, sich nähern und endlich mit einander verwachsen; daraus entstehen röhrenförmige Blätter. Was bei den Stengelblättern eine sehr seltene Ausnahme ist, das kommt bei den Fruchtblättern sehr häufig vor; indem die Ränder ihrer ganzen Länge nach verwachsen, verwandelt sich das Carpell in eine geschlossene Höhle, welche die Samenknospen einschließt. Auf diese Weise sind besonders alle Hülsenfrüchte entstanden; man unterscheidet dann den Mittelnerven des gefalteten Blattes als die Rückennath (a) und die vereinigten Blattränder als die Bauchnath (b), der Fruchthülle; an der letzteren befestigen sich die Samen (c). Zu dieser Faltung der einzelnen Fruchtblätter kommt, wenn mehrere derselben vorhanden sind, ihre wechselseitige Verbindung. Wenn auf dem Ende der Axe mehrere Carpelle stehen, so schließt sich nur in selteneren Fällen jedes für sich ab; sondern meistens verschmelzen sie auf solche Weise, daß sie miteinander einen mehrtheiligen Fruchtknoten darstellen. Hiebei kann jedes Carpell wieder flach und offen (A), oder gefaltet und mehr oder weniger geschlossen (B) sein; und es entstehen hieraus einfächrige und mehrfächrige Fruchtknoten. Die Scheidewände, welche durch die Carpelle gebildet werden, stehen immer senkrecht.

Im Uebrigen richten sich die Fruchtblätter nach den Gesetzen, welche für die Stellung der Blätter überhaupt und der Blattorgane der Blüthe insbesondere gelten. Bisweilen ist nur Ein Fruchtblatt vorhanden; aber gewöhnlich sind es ihrer mehrere, die in Spi-

Digitized by Google

ralen stehen, und nicht selten ist ihre Zahl so groß, daß sie mehrere Spiralumgänge bilden. Ihre Zahl läßt sich sehr häufig bei den Monokotyledonen auf 3, bei den Dikotyledonen auf 5 zurückführen. Zu den Staubgefäßen verhalten sie sich in der Regel so, daß sie mit ihnen abwechseln. Wie bei den übrigen Blüthentheilen, so können auch bei den Carpellen einzelne fehlschlagen.

Die Fruchtblätter stellen das innerste Blattorgan der Blüthe dar. Kelch, Blumenkrone, Staubgefäße und Fruchtblätter werden also von dem verkürzten Stengelende, von dem Blüthenboden getragen; selten dehnt sich dieser stengelartig zwischen einzelnen Blattkreisen der Blüthe in die Länge aus. Wenn man die einzelnen Blattkreise der Blüthe mit einander vergleicht, so wechselt fast immer der eine Kreis mit dem nächstfolgenden ab. So kommt es, daß bei denjenigen Blüthen, wo jedes Blattorgan nur Einen Kreis bildet, in der Regel Kelchblätter (1) und Staubgefäße (3), Blumenkronenblätter (2) und Carpelle (4) gerade hinter einander stehen. Diese regelmäßige Stellung der einzelnen Blüthentheile hat ihren hauptsächlichen Grund in den Zahlengesetzen, welche in jeder einzelnen Blüthe für alle ihre Theile Geltung haben. Sie wird aber gestört, wenn, wie wir öfters erwähnt haben, ein Blattorgan oder ein ganzer Blattkreis der Blüthe fehlschlägt. Die unregelmäßigen Blüthen zeigen vorzüglich ein Fehlschlagen von Staubgefäßen oder Fruchtblättern. Endlich muß noch erwähnt werden, daß nicht immer jeder einzelne Kreis der Blüthe sich zur vollen Selbständigkeit entwickelt, sondern daß mehrere Kreise bis zu einer gewissen Höhe untereinander verbunden bleiben. So sind häufig, wie bei Iris, Kelch, Blumenkrone und Staubgefäße mit dem Fruchtknoten verschmolzen und scheinen auf diesem zu stehen; so sitzen, wie bei der Rose, die Staubgefäße und die Blumenkrone scheinbar auf dem

Digitized by Google

Kelch; so trägt bei der Primel die Blumenkrone allein die Staubgefässe; so sind bei den Orchideen Griffel und Staubfaden in Eine Säule vereinigt. Im Allgemeinen stören diese Abweichungen die Regelmäßigkeit der Blüthe nicht; aber sie dienen für einzelne Pflanzen und Pflanzengruppen als auszeichnendes Merkmal.

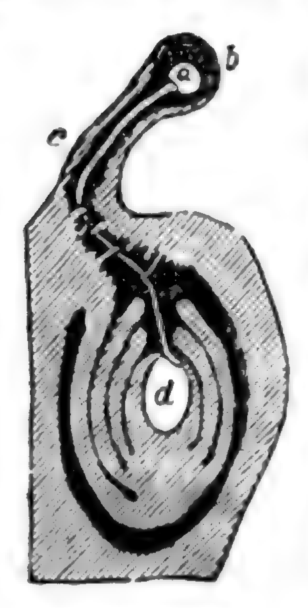
Von allen diesen Blattorganen der Blüthe geben nur die Staubgefässe durch den Inhalt ihrer Zellen selbst einen Beitrag zum Processe der Befruchtung. Die Blüthenhüllen dienen zu nichts Anderem, als zur Umhüllung und Beschützung der inneren Blüthenorgane. Der Stempel aber wird zu einem sehr wichtigen Blüthenorgane erst durch die Samenknospen oder Eichen, welche er in der Höhle seines Fruchtknotens enthält, und mit welchen er in der innigsten Verbindung steht. Diese Eichen sind der Ort, an welchem sich der neue Pflanzenkeim so lange entwickelt, bis er fähig ist, außerhalb der Frucht als selbständige Pflanze fortzuleben.

Die Samenknospe ist in der Regel nicht nackt, sondern von einer oder zwei Häuten umgeben, welche aus der Basis der Samenknospe sich entwickeln. Man unterscheidet diese Häute als äußere (c) und innere (b) Eihaut; beide schließen an der obern Spitze des Eichens nicht fest zusammen, sondern lassen hier eine Oeffnung übrig, die Mikropyle (d), welche zum Innern der Samenknospe führt. Dieses Innere, der Eikern (a) ist die Hauptsache; in ihm dehnt sich eine Zelle überwiegend aus, und diese heißt der Embryosack (e). Wie am Staubgefäß die Anthere und in der Anthere die Pollenzelle, so ist am Ei der Kern und in diesem die große, als Embryosack entwickelte Zelle der allein wichtige Theil. Pollenkorn und Embryosack genügen zur Hervorbringung eines neuen Pflanzenkeimes. Aber damit dieser wirklich entsteht, müssen beide Gebilde sich unmittelbar berühren, und es erscheint auf den ersten Blick schwierig, zu erklären, wie das Pollenkorn in die rings

Digitized by Google

geschlossene Höhle des Fruchtknotens und endlich durch die Mikropyle zu dem Embryosack hinab gelangen soll. Es scheint übrigens, daß dieser Vorgang durch vielfache, und besonders durch neuste Untersuchungen fast ganz zu der erstrebten Klarheit und Sicherheit gebracht worden ist.

Die Pollenkörner bestehen aus einer doppelten Haut und einem dickflüssigen Inhalte; der letztere enthält sehr feine Körnchen, zum Theil von Stärkmehl, zum Theil von Fett, zum Theil von stickstoffhaltiger Substanz. Die beiden Häute werden von Wasser sehr leicht durchdrungen; wenn die Pollenkörner mit Wasser in Berührung kommen, so saugen sie daher dieses nach den Gesetzen der Endosmose rasch ein; sie schwellen stark an, und es kommt bald zum Platzen der Häute und zum Ausfließen des Inhaltes. Weniger tumultuarisch ist der Proceß, wenn nicht reines Wasser, sondern wäßrige Lösungen organischer Substanzen die Pollenkörner berühren; hier öffnet sich bisweilen nur die äußere Haut, und durch ihre Lücken drängt sich die innere in Form von längeren oder kürzeren Röhren hervor. Aehnliches geschieht, wenn das Pollenkorn auf die Narbe des Stempels fällt. Die Oberfläche der Narbe ist nämlich nicht blos uneben und mit zahlreichen, feinen Papillen besetzt; sondern sie scheidet auch zur Zeit der Befruchtung eine schleimige Flüssigkeit aus. Daher wird das Pollenkorn (a) auf der Narbe (b) zuerst mechanisch festgehalten und dann zu einer oder mehreren schlauchförmigen Hervortreibungen seiner inneren Haut bestimmt. Die Pollenschläuche senken sich in die Substanz der Narbe ein. Von der Narbe aus verläuft fast immer ein enger Kanal oder eine Rinne durch den Griffel (c) hinab bis zur Höhle des Eierstockes. Diesen Weg verfolgen die Pollenschläuche; und indem das angränzende, sehr lockere Zellgewebe des Griffels gleich der Narbe eine schleimige Flüssigkeit absondert, nehmen die



Pollenschläuche fortwährend Flüssigkeiten auf. Während das Pollenkorn auf der Narbe liegen bleibt, senken sich die Schläuche immer tiefer durch den Griffel hinab. Sie werden aber hiebei nicht blos mechanisch ausgedehnt; sondern es ist ein wirkliches Wachsthum, was die Schläuche durch das leitende Gewebe des Griffels hinabsteigen und bis zur Höhle des Eierstockes gelangen läßt; aus der Flüssigkeit, welche Narbe und Griffel absondern, wird der Stoff zu diesem Längenwachsthume genommen.

Der Weg, welchen die Pollenschläuche bis zur Höhle des Fruchtknotens zurücklegen, scheint durch den Bau des Griffels genau vorgeschrieben zu sein. Aber damit die Befruchtung wirklich erfolge, dürfen die Schläuche nicht blos in die Eierstockhöhle hinabsteigen, sondern es muß einer derselben in die Mikropyle eines Eichens selbst eintreten, und mit der Oberfläche des Eikernes und des von diesem eingeschlossenen Embryosackes (d) in unmittelbare Berührung kommen. Wie der Pollenschlauch dieses Ziel seiner Bewegung erreicht, ist schwer zu begreifen. Manche Schläuche mögen allerdings zu Grunde gehen, ohne auf die Mikropyle eines Eichens zu treffen; aber groß scheint die Zahl solcher verlorenen Schläuche nicht zu sein; denn man hat Beobachtungen, wonach fünfzig bis sechzig Pollenkörner hinreichen, um mehr als dreißig Eier zu befruchten, und dieses Verhältniß bleibt sehr bedeutend, wenn man auch in Anschlag bringt, daß ein Pollenkorn mehrere Schläuche hervortreiben kann.

Ehe noch die Pollenröhre die Oberfläche des Eikernes erreicht, gehen in dem Embryosack vorbereitende Veränderungen vor sich. Durch freie Zellenbildung entstehen in ihm (c) eine oder mehrere, meistens drei junge Zellen, die sogenannten Keimbläschen (a, b); diese liegen meist in demjenigen Ende des Embryosackes, welches der Mikropyle des Eichens zugekehrt ist. Es scheint, daß der Einfluß des Pollens mit der Entstehung dieser Keimbläschen noch nichts zu thun hat, sondern daß die Berührung des Eichens durch den Pollenschlauch nur die rasche und überwiegende Ent-

Digitized by Google

wicklung eines der Keimbläschen nach sich zieht. Man muß annehmen, daß der Pollenschlauch, indem er sich an die Oberfläche des Eikernes anlegt, einen Theil seiner Substanz in den Embryosack und in das eine der Keimbläschen übertreten läßt. Sobald dieses geschehen ist, hat die Pollenröhre ihren Zweck erfüllt; sie vertrocknet und verschwindet allmälig. Aber in dem befruchteten Keimbläschen beginnt jetzt ein neuer Proceß; seine Zellen vermehren sich rasch durch Theilung, und in demselben Maaße wächst das Bläschen zu einem länglichen, zellenreichen Körperchen aus. Das eine Ende dieses Körperchens treibt sich endlich kugelförmig auf; und während das dünne Ende nur als Aufhängefaden dient, entsteht aus der kuglichen Auftreibung allmählig der Embryo mit Würzelchen, Stengelchen und Keimblättern.

Wenn der Embryo einmal gebildet ist, so ergeben sich die weiteren Umbildungen des Stempels und seines Inhaltes von selbst. Der Embryo für sich oder zusammen mit den Resten des Embryosackes und des Eikernes verwandelt sich in den Samen, die Eihäute in die Samenhäute; der Fruchtknoten des Stempels wird allmählig zur Frucht. Die Nahrungsstoffe, welche das junge Pflänzchen beim Anfange seiner selbständigen Entwicklung bedarf, werden theils in den Keimblättern des Embryo's selbst, theils in den Resten des Embryosacks und Eikernes, welche man jetzt als Sameneiweiß beschreibt, unter der Form von Stärkmehl oder fettem Oel abgelagert. Hat endlich der Samen seine volle Reife erlangt, so öffnet sich die Frucht durch Aufspringen oder langsamer durch Fäulniß; auch der Embryo sprengt die Samenhüllen, und es beginnt die Keimung, welche schon früher in ihren hauptsächlichen Zügen geschildert worden ist. Wurzel, Stengel und Blätter entwickeln sich so, daß sie in selbständige Wechselwirkung mit Luft und Boden treten können.

Die Befruchtung des Eichens durch die Pollenröhre ist der Endzweck des Lebens aller einjährigen Pflanzen.

Digitized by Google

In diesem Akte drängt sich daher Vieles zusammen, was in die pflanzlichen Lebensvorgänge den tiefsten Blick gewährt, was aber in anderen Organen und auf anderen Entwicklungsstufen zerstreut und weniger ausgeprägt vorkommt. Wir haben schon von der Athmung und Wärmeerzeugung gesprochen, welche in den Blüthen mancher Pflanzen mit der größten Energie vor sich geht. Wir haben die Bewegungen erwähnt, welche die Geschlechtsorgane und namentlich die Staubgefässe bisweilen ausführen, damit der Blüthenstaub bei seiner Ausstreuung sicher auf die Narbe fällt. Hier ist aber besonders hervorzuheben, wie jedes Geschlechtsorgan für sich eine bestimmte Reihe von Entwicklungsstufen durchläuft, bis es die Reife erlangt hat, welche zur Ausführung seiner Funktion nothwendig ist. Staubgefäße und Stempel, Pollenkorn und Embryosack verfolgen ihre eigenen Wege in der Ausbildung ihrer innern Struktur und ihrer äußern Gestalt. Aber die Ziele beider Wege stoßen zusammen; zur selben Zeit werden beide Geschlechtsorgane fähig, ihren Beitrag zur Entstehung des neuen Individuums zu liefern, und bald begegnen sich auch die Produkte beider Organe im Vorgange der Befruchtung. Entsprechendes geschieht überall bei der organischen Entwicklung. Aus dem ungeschiedenen Keime heraus entstehen die einzelnen Organe; jedes befolgt sein eigenes Bildungsgesetz; aber alle wirken zu den Zwecken des organischen Lebens harmonisch zusammen.

Wenn auch Staubgefässe und Stempel richtig ausgebildet sind, so ist damit doch nicht immer jede Bedingung erfüllt, welche vorhanden sein muß, damit die Befruchtung und die Entwicklung des Embryo's vollständig vor sich gehen könne. Die Bestäubung der Narbe durch den Blüthenstaub geschieht nicht einfach nach den Gesetzen der Schwere, wenn, wie dieß bei vielen Pflanzen der Fall ist, die Staubbeutel sich unterhalb der Narbe befinden. Dieses Hinderniß wird durch verschiedene Vorrichtungen weggeräumt. Dahin gehört vor Allem die öfters bemerkte gegenseitige Annäherung der Geschlechtsorgane. Aber

Digitized by Google

auch Wachsthumserscheinungen bewirken nicht selten die Entfernung jenes Hindernisses. Bei manchen Pflanzen, wie bei den Astern, geschieht die Ausstreuung des Pollens, ehe der Stempel seine größte Länge erreicht hat, bisweilen sogar, ehe die Blüthe geöffnet ist. Andre, wie die Kaiserkrone, haben vor der Befruchtung hängende Blüthen, so daß der Pollen leicht von den kürzeren Staubgefässen auf die längere Narbe herabfallen kann; nach der Befruchtung aber erheben sich die Blüthenstiele, und die Früchte der Kaiserkrone sind ganz nach oben gerichtet. Wo alle diese mechanischen Mittel zur Bestäubung der Narbe fehlen, da übernehmen nicht mehr die Pflanzen, sondern äußere Potenzen die Sorge für die Befruchtung; insbesondere geschieht dieses durch Insekten, welche in dem Grunde der Blüthen Honigsaft gesammelt haben und bei ihrer Rückkehr den ausgestreuten Blüthenstaub der Narbe zuführen. Auch dort sind öfters Insekten zur Befruchtung nöthig, wo, wie bei der Iris, die Staubbeutel sich nach außen öffnen, also den Pollen nach der vom Stengel abgekehrten Seite entleeren.

Wir haben bis jetzt nur solche Fälle behandelt, wo die Geschlechtsorgane in Einer Blüthe vereinigt sind, wo aber ihre Stellung die Befruchtung erschwert. Eine viel kräftigere Unterstützung bedarf die Befruchtung bei solchen Gewächsen, deren Geschlechtsorgane, wie bei unsern Waldbäumen, auf verschiedene Blüthen oder sogar auf verschiedene Individuen vertheilt sind. Bei den Tannen und Fichten, ebenso bei den Pappeln, Weiden und Erlen bemerkt man einen bedeutenden Reichthum an Staubgefässen und Pollen; wenn auch viel von diesem befruchtenden Stoffe verloren geht, so reicht doch das Uebrige hin, um die Befruchtung der weiblichen Blüthen zu Stand zu bringen. Die Uebertragung des Pollens geschieht auch hier bisweilen blos durch die Schwere; die männlichen Blüthen stehen nicht selten auf derselben Pflanze gerade über den weiblichen. Außerdem sind aber die Winde hier von großer Bedeutung. Wenn im Frühling starke Stürme wehen, so führen sie häufig den

Digitized by Google

Blüthenstaub von Waldbäumen und namentlich von Nadelhölzern in großer Menge mit sich; dieser Blüthenstaub mischt sich dem Regen bei und macht, daß dieser als Schwefelregen sich darstellt. So wird der Pollen männlicher Blüthen von den Winden oft auf weite Entfernungen hin zu weiblichen Blüthen getragen. Aehnliches bewirken auch bei getrennten Geschlechtern häufig die honigsaugenden Insekten.

Diese verschiedenen Arten von Hilfe räumen die Hindernisse hinweg, welche die gegenseitige Lage der Staubgefässe und Stempel der Befruchtung entgegensetzen. Aber in einzelnen, wenigen Fällen sind zum Zwecke der Befruchtung noch andere Schwierigkeiten zu überwinden. Wir erwähnen hier nur die Vallisnerie, eine Wasserpflanze, deren Geschlechtsorgane getrennt sind, und deren männliche und weibliche Blüthen sich unter dem Wasser entwickeln. Würde der Pollen dieser Pflanze unter dem Wasser entleert, so müßte dadurch die Befruchtung zum voraus vereitelt werden; denn das Wasser macht die Pollenkörner platzen und ihren Inhalt austreten. Die Blüthen müssen daher zum Zwecke der Befruchtung an die Wasseroberfläche kommen. Dieses geschieht bei den weiblichen Blüthen durch das Geradstrecken der langen, bisher spiralförmig gewundenen Blüthenstiele, bei den männlichen Blüthen aber dadurch, daß die kurzen Stielchen abreißen und die freigewordenen Blüthen zur Oberfläche des Wassers emporsteigen. Hier geschieht die Befruchtung. Die männlichen Blüthen, welche ihren Zweck erfüllt haben, sterben ab; die Stiele der befruchteten weiblichen Blüthen rollen sich aber wieder spiralförmig zusammen, und die Entwicklung der Frucht geschieht aufs Neue unter dem Wasser. Aehnliche Wachsthumsbewegungen kommen vielfach im Pflanzenreiche vor; aber sie sind kaum jemals so ausgeprägt und von einem so einleuchtenden Erfolge begleitet, als in dem Falle der Blüthen von Vallisneria. In dieselbe Klasse von Erscheinungen gehören auch die Wachsthumsbewegungen, welche die Blüthenstiele des eckigblättrigen Leinkrautes nach dem Verblühen ausführen; sie deh-

nen sich sehr in die Länge aus und versenken die kleinen Frücht-chen in Mauerlöcher, in welchen später die Samen keimen können.

Es geht aus diesen Zusammenstellungen hervor, wie zur Erzeugung eines neuen Individuums nicht blos der Stoffwech-sel und die äußeren Bewegungen, nicht blos der innere Bau und die äußere Gestalt der Pflanzen, sondern auch Einflüsse von ganz anderer, äußerlicher Art zusammenwirken. Auch wäh-rend des übrigen Pflanzenlebens tragen innere und äußere Be-dingungen zum richtigen Vorsichgehen des pflanzlichen Lebens bei; aber mehr, als irgendwo sonst, treffen sich in der Blüthe alle Einflüsse wie in einem Brennpunkte, um für Einen Zweck, für die Erhaltung der Species, thätig zu sein. In der Blüthe selbst sind es Pollenkorn und Embryosack, Staubgefäß und Samenknospe, welche sich in diesem Momente begegnen. Das Staubgefäß ist sicher nur ein Blatt, der Pollen also ein Blatt-produkt; vielleicht darf man ebenso sicher annehmen, die Samen-knospe sei ein Produkt des Stengels oder der Axe der Pflanze. Dann schließen sich in der oberirdischen Pflanze mit dem Akte der Befruchtung die hauptsächlichsten Gegensätze wieder zur Ein-heit zusammen. Im Embryo wächst, wie wir anfangs zeigten, das Blatt aus dem Anfange des Stengels hervor. Blatt und Axe ziehen sich als bleibende Gegensätze durch das ganze Leben der Pflanze hindurch. In der Blüthe erst kehrt der Pollen des Staubblattes zu der Samenknospe der Axe zurück, um mit dieser ein neues Individuum zu bilden.

Wir sind wieder an demselben Punkte angekommen, mit welchem wir dieses Kapitel begonnen hatten. Der Kreislauf der Metamorphose ist vollendet; der neue Keim beginnt wieder da, wo auch die Mutterpflanze ihren Ursprung genommen hatte. Von den verschiedenen Richtungen der Metamorphose ist bis jetzt nur in Andeutungen die Rede gewesen; aber wir haben auch von diesen jetzt einen kurzen Ueberblick zu geben, wir haben zu zeigen, daß es in der Pflanzenwelt nicht blos allge-

Digitized by Google

meine Gesetze der Gestalt und Thätigkeit gibt, sondern daß auch die Eigenthümlichkeiten der einzelnen Pflanzen eine bestimmte Regel in sich erkennen lassen. Die geographische und die geognostische Verbreitung der einzelnen Gruppen wird sich an die Schilderung dieser Verschiedenheiten aufs beste anschließen.

---

5) **Die natürlichen Gruppen des Pflanzenreiches.** Seit die Kenntniß der Pflanzenformen von den Menschen angestrebt worden ist, hat man auch immer versucht, Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten zwischen den einzelnen Pflanzen aufzufinden, und je nach dem Grade der Verwandtschaft die bekannten Pflanzen anzuordnen. Erst allmählig erhob man sich von den Individuen zur Species, als dem eigentlichen Ausgangspunkte aller systematischen Anordnung der Organismen. Wir haben diese Species schon früher (II. 51 ff.) als den Inbegriff aller derjenigen Individuen geschildert, welche in ihren wesentlichen Eigenschaften übereinstimmen. Viele Pflanzenspecies sind jetzt schon sicher festgestellt, und jedenfalls herrscht kein Zweifel mehr darüber, was man im Allgemeinen unter einer Species zu verstehen habe. Aber viel schwieriger ist es, die Species, diese idealen Einheiten der organischen Schöpfung, selbst wieder nach ihren Verwandtschaftsgraden zu gruppiren und unter höhere, allgemeinere Gesichtspunkte zusammenzufassen. Auf dieser Gruppirung der Species beruht die ganze organische und insbesondere pflanzliche Systemkunde.

Da der Mensch bei aller Gedankenentwicklung an eine bestimmte, zeitliche Aufeinanderfolge, an eine lineäre Ordnung gebunden ist, so war er natürlich versucht, auch für die Anordnung der natürlichen Dinge die Linie als Norm anzunehmen. Die pflanzlichen Species z. B. sollten sich so zu einander verhalten, daß sie in eine Reihe eingeordnet werden könnten, welche mit der unvollkommensten Pflanze begänne und bis zur vollkommensten aufstiege. Zwischen beiden Endpunkten dieser Reihe würde die Vollkommenheit der pflanzlichen Organisation in immer

Digitized by Google

steigendem Maaße zunehmen. Solche Ansichten werden noch jetzt von manchen Naturforschern vertreten. Aber es gewinnt doch die andere Ueberzeugung immer mehr die Oberhand, die Organismen seien zwar nach einer Seite hin verwandter als nach einer andern, aber die Verwandtschaften lassen sich eher, wie Linné meinte, durch eine Landkarte oder nach Cuvier's Vorschlag durch ein Netz darstellen. Nach allen Seiten hin greifen die verwandtschaftlichen Beziehungen der einzelnen Pflanzenspecies, und die Stellung jeder einzelnen Species wird immer klarer erkannt, je gründlicher sie mit allen anderen verglichen wird. Diese allseitigen Beziehungen schließen natürlich nicht aus, daß der Zug der Verwandtschaft in einigen Richtungen stärker ist als in anderen.

Wenn demnach die Stellung einer Pflanze im Großen des Gewächsreiches nur durch allseitige Vergleichungen gefunden werden kann, so versteht sich weiterhin von selbst, daß nicht einzelne Theile, sondern die ganzen Pflanzen der Vergleichung zu Grunde gelegt werden müssen. Die früheren künstlichen Systeme hatten nur einzelne Merkmale herausgegriffen; sie hatten sich oft an sehr äußerliche Dinge, an die Lebensdauer, an die krautartige oder baumartige Beschaffenheit der Pflanzen gehalten. Aber das geistvollste künstliche System, welches Linné auf die Fortpflanzungsorgane gründete, bereitete unmittelbar den Uebergang zu natürlichen Eintheilungen vor. Seit Jussieu wird an der Aufgabe eines naturgemäßen Pflanzensystemes gearbeitet, und viele Pflanzenfamilien haben jetzt ihre richtige Stellung erhalten. Wenn bei den natürlichen Systemen verlangt wird, daß auf alle Seiten des pflanzlichen Organismus Rücksicht genommen werden soll, so ist dieses nicht so zu verstehen, als ob bei jeder Pflanze alle Eigenschaften zur Feststellung ihrer Verwandtschaften gleichen Werth hätten. Wie die Verwandtschaften in Einer Richtung stärker sind als in anderen, so treten auch einzelne Eigenschaften als besonders charakteristisch vor den übrigen hervor. Im Allgemeinen schon sind einzelne Kennzeichen

Digitized by Google

für die Systematik besonders werthvoll; dahin gehören z. B. die Fortpflanzungsorgane, durch deren Berücksichtigung das Linnéische System sich vor allen andern künstlichen auszeichnet. Dann aber tritt sehr häufig in einzelnen Pflanzenfamilien ein Merkmal gleichsam als dominirend hervor, so bei den Labiaten die lippenförmige Bildung der Blüthen, bei den Doldengewächsen der doldenartige Blüthenstand.

Es erhellt hieraus, daß man Unrecht hat, zu behaupten, die Natur befolge in der Anordnung der organischen Körper gar kein System; wahr ist nur, daß menschliche Systeme blos kleine Bruchstücke der wirklichen Anordnung zu geben vermögen, daß also die Natur keines unserer Systeme befolgt. Der weise Schöpfer und Ordner der Welt hat sicher auch die organischen Körper nicht ohne innere, leitende Ideen neben einander gestellt; sondern wie er die Organismen bis in ihre kleinsten, mikroskopischen Theilchen hinein gestaltete und gliederte, so hat er sie auch selbst wieder als Glieder in ein höheres System eingefügt. Wir werden nie dahin gelangen, die gegenseitigen Beziehungen oder Theilchen eines Organismus zu erschöpfen; wie könnten wir hoffen, die Ordnung der ganzen organischen Welt zu ergründen, von der wir noch nicht einmal einen umfassenden äußeren Ueberblick gewonnen haben? Wir versuchen jetzt, das Wichtigste zur Charakteristik der Pflanzengruppen beizubringen; wir versuchen, zu zeigen, wie die gestaltliche Eigenthümlichkeit der Gruppen mit ihrer geognostischen und geographischen Vertheilung vielfach zusammentrifft.

Unter allen Verschiedenheiten der Pflanzen steht der Unterschied zwischen geschlechtlosen und Geschlechtpflanzen oben an. Innerhalb der Species selbst tritt ja der Gegensatz der Geschlechter als der schärfste und durchgreifendste hervor, und die Ausbildung oder Nichtausbildung dieses Gegensatzes bezeichnet als oberstes Princip die Stufe des Systemes, auf welcher sich eine Pflanze befindet. Die geschlechtlosen Pflanzen vermehren sich durch Theilung oder meistens durch freie Keime oder Spo-

Digitized by Google

ren, welche in Mutterzellen, und zwar theils in besonderen Organen, theils überall in der Pflanze sich entwickeln. Diese Fortpflanzungsweise bleibt für sie charakteristisch, wenn auch in neuster Zeit Andeutungen von geschlechtlichen Gegensätzen an ihnen aufgefunden worden sind. Die Geschlechtpflanzen hingegen pflanzen sich alle durch das Zusammenwirken von Staubgefässen und Stempel, von Pollen und Samenknospe fort; auch diesem Charakter thut es keinen Eintrag, daß neben der geschlechtlichen Fortpflanzung bei jenen Gewächsen die Vermehrung durch Theilung oder Knospenbildung häufig vorkommt. So zerfällt das Pflanzenreich zuoberst in geschlechtlose Pflanzen, Agamen oder Kryptogamen, und in Geschlechtpflanzen oder Phanerogamen. Jene sind zwar weit verbreitet an der Erdoberfläche; ihre niedersten Formen treten sogar noch allein an den Gränzen aller Vegetation, in der Nähe der Pole und auf den Höhen der Gebirge auf. Aber das Uebergewicht nach Zahl und Bedeutung liegt doch auf der Seite der Geschlechtpflanzen.

Die Wichtigkeit des Gegensatzes der Geschlechter tritt deutlich hervor, wenn man weiter betrachtet, wie an den Geschlechtpflanzen noch fernere tief eingreifende Gegensätze des pflanzlichen Organismus zur Erscheinung kommen. Der Embryo, welcher aus der Befruchtung der phanerogamen Samenknospe hervorgeht, schließt Wurzel, Stengel und Blätter in sich ein; und so fehlt bei keiner Geschlechtpflanze der Gegensatz von unterirdischem und oberirdischem Theil, von Axe und Blattorganen. Alle Phanerogamen sind daher zugleich Embryonaten und Stengelpflanzen. Mit der Entwicklung von Stengel und Blatt hält endlich eine innere Gliederung gleichen Schritt: aus dem ungeschiedenen Parenchym treten besondere Gewebe, vornehmlich Gefässe mit Prosenchymzellen einerseits und Oberhaut mit Spaltöffnungen andrerseits hervor. Alle ausgebildeten Phanerogamen sind ebendamit auch Gefäßpflanzen.

Während so bei den Phanerogamen mit dem Gegensatze

Digitized by Google

der Geschlechter sich noch andre, höchst wichtige, gemeinsame Charaktere verbinden, sind weder Stengel und Blatt, noch verschiedenartige Gewebe allen Kryptogamen gemeinschaftlich. Vielmehr scheiden sich diese in zwei große Gruppen, je nachdem der Gegensatz von Stengel und Blatt fehlt oder vorhanden ist. Die Algen, Pilze und Flechten entbehren diesen Gegensatz vollständig. Für die Funktionen, welche sonst Stengel und Blatt übernehmen, dient hier eine einzige, mannigfach gestaltete und verzweigte Masse, das Lager, und über dieses erhebt sich die Pflanze nur, wenn sie besondere Fortpflanzungsorgane ausbildet. Bei den Pilzen vorzüglich sind die letzteren Organe gegenüber vom Lager sehr bedeutend entwickelt und stellen den Hut der höheren Gruppen dar. Im Gegentheile fängt schon bei den Moosen Stengel und Blatt an, deutlicher hervorzutreten, und bei den Farnkräutern, Bärlapmoosen und Schafthalmen hat die Ausbildung der beiderlei Organe eine Stufe erreicht, welche hinter den Formen der Phanerogamen kaum zurückbleibt. Diese drei kryptogamen Familien sind daher gleichfalls Stengelpflanzen. Dazu kommt, daß auch bei den Kryptogamen der Gegensatz von Stengel und Blatt die innere Scheidung der Gewebe mit sich führt. Die Algen, Pilze und Flechten sind Zellenpflanzen; die Farnkräuter, Bärlapmoose und Schafthalme gehören zu den Gefäßpflanzen, und zwischen beiden Abtheilungen stehen die Moose in der Mitte.

Für die Charakteristik der einzelnen Gegenden oder Gebirgsschichten der Erde geben die gefäßlosen Kryptogamen die schwächsten Anhaltspunkte. Dieses rührt gewiß zum Theile von der geringeren Bekanntschaft mit ihren Hauptformen her; aber vorzüglich muß es auch daraus erklärt werden, daß die Zellenpflanzen neben der mangelhaften, inneren Ausbildung ihrer Gewebe auch weniger scharf an einzelne Continente oder Meerestheile gebunden sind. Die Algen bewohnen im Allgemeinen die Gewässer der Erde; sie bilden fast allein die Pflanzenwelt der Meere. Die Pilze und Flechten sind Pflanzen des Fest-

Digitized by Google

landes; aber sie unterscheiden sich durch ihr Vorkommen wieder insofern, als die ersteren auf faulenden organischen Körpern, die letztern auf trockenen, festen Unterlagen, auf Baumrinden, Felsen oder Metallen wachsen. Die Familie der Flechten dehnt sich am weitesten nach den Polen hin aus, und im Norden z. B. überziehen verschiedene Arten, wie das isländische Moos, den Erdboden auf weite Strecken hin. Auch von den Moosen ist in dieser Beziehung wenig zu sagen; sie schließen sich in Bezug auf ihr Vorkommen vielfach den Flechten an.

Da die Erde seit den ersten Anfängen ihrer Abkühlung von größeren und kleineren Wassermassen bedeckt war, da insbesondere große Meeresbecken nie an der Erdoberfläche fehlten, so läßt sich schon zum voraus vermuthen, daß auch Algen seit der ersten Erschaffung organischer Wesen an der Erdoberfläche vorgekommen sind. Ihre Aufbewahrung in den Erdschichten wurde dadurch erschwert, daß sie vermöge ihrer Weichheit, vermöge ihres Skeletmangels weniger Veranlassung zur Versteinerung darboten. Doch fehlen schon in den ältesten Schichten, im silurischen System und im Kohlengebirge, deutliche Reste von Seealgen keineswegs; wo aber ihre Formen sich nicht mehr im Gesteine erkennen lassen, da nöthigt die grauliche und schwärzliche, durch Glühen verschwindende Färbung der Gebirgsarten, an eine Beimengung von halbzersetzten, verkohlten, organischen Körpern zu denken, und als Ursprung dieser Kohle bieten sich in den ältesten Schichten zunächst die Seetange dar. Ehe Inseln von bestimmterer Form und von größerem Bestande über die Gewässer der Erde emporstiegen, also im Anfange der silurischen Zeit, dürften Seealgen die einzigen Pflanzen unserer Erdoberfläche gewesen sein. Aber mit der Ausbildung von Festland traten in immer reichlicherer Weise auch Landpflanzen auf, und mit dem Erscheinen derselben beginnt eigentlich erst die Zeit, wo ein bestimmter Fortschritt in der Entwicklung der irdischen Vegetation verfolgt werden kann. Während die Landpflanzen immer neue Formen entwickelten,

Digitized by Google

fehlten auch den Meeren nie ihre Algen; aber es ist noch nicht sicher gelungen, auch an den Algenformen der verschiedenen Gebirgsschichten einen bestimmten Fortschritt nachzuweisen.

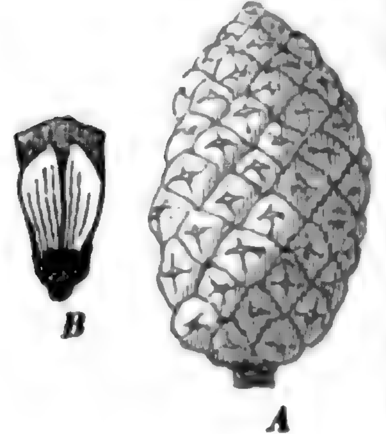
Unter den Landpflanzen begegnen wir zunächst den Gefäßkryptogamen. Es ist hier nicht der Ort, die Charaktere der Bärlapmoose, der Farnkräuter und Schafthalme ausführlich zu erörtern. Die erste dieser drei Familien nähert sich in ihrem Habitus noch am meisten den gewöhnlichen Moosen. Bei den Schafthalmen erreicht der Stengel eine überwiegende Entwicklung. Bei den Farnkräutern dagegen breitet sich das Blatt als Wedel in mannigfachen Formen aus; der Stengel bleibt bei den Gattungen der gemäßigten Zone als Wurzelstock unter der Erde; aber in der heißen Zone erhebt er sich zu schlanken Stämmen von mehr als zwanzig Fußen, an deren Spitze die großen, vielfach getheilten Wedel hervorkommen. Im Allgemeinen lieben diese Gefäßkryptogamen warme und feuchte Gegenden.

Die Flora der Steinkohlenperiode wird durch diese Gefäßkryptogamen vornehmlich charakterisirt. Aber die Pflanzen jener Periode gehören Formen an, welche man jetzt nicht mehr kennt. Insbesondere erreichen jetzt unter allen Gefäßkryptogamen nur noch die Farnkräuter und auch unter diesen nur die tropischen Gattungen einen baumartigen Habitus; die Schafthalme und Bärlapmoose bieten dagegen in der Jetztzeit nur sehr kleine Dimensionen dar. Aber die Pflanzenreste der Kohlerperiode lassen nicht blos Wedel und Stämme von zahlreichen Gattungen baumartiger Farnkräuter erkennen; sondern auch die Bärlapmoose und Schafthalme waren durch große, baumartige Formen, jene vorzüglich durch die Lepidodendren, diese durch die Calamiten repräsentirt. Wie jetzt noch auf den Inseln der Südsee kleine Wälder von baumartigen Farnkräutern vorkommen, so waren die Inseln der Steinkohlenperiode wahrscheinlich dicht mit kolossalen Formen von Schafthalmen, Farnkräutern und Bärlapmoosen besetzt.

Digitized by Google

Für diejenigen, welche eine lineäre Anordnung der Organismen überhaupt annehmen, ist es natürlich vorauszusetzen, auch in den verschiedenen Schichten der Erdrinde folgen Pflanzen und Thiere so aufeinander, daß sie in Einer Reihe von den unvollkommensten zu den vollkommensten Formen aufsteigen. Was wir bisher von dem Vorkommen der gefäßlosen und gefäßhaltigen Kryptogamen gesagt haben, scheint für diese Ansicht zu sprechen; die niedersten Zellenpflanzen wären zuerst an der Erdoberfläche erschienen, und auf sie wären die niedersten, kryptogamen Gefäßpflanzen gefolgt. Allein die letzteren haben auf den Inseln der Kohlenperiode nicht die einzige Vegetation gebildet; neben Kryptogamen scheinen dort von Anfang an auch Phanerogamen gelebt zu haben, und zwar Geschlechtpflanzen, welche man unter dem Namen der Nacktsamigen oder Gymnospermen zusammenfaßt.

Von der Gruppe der nacktsamigen Gewächse leben an der jetzigen Erdoberfläche noch zwei Familien, die Zapfenträger oder Koniferen und die Cycadeen. Beide haben eine viel einfachere Blüthenbildung und ein einfacher gebautes Holz, als alle übrigen Geschlechtpflanzen. Die Geschlechtsorgane sind immer auf zwei verschiedene Blüthen oder auf zwei verschiedene Individuen vertheilt. Von einem Stempel ist nicht die Rede; sondern die Eichen stehen unverhüllt und meist zu zwei in der Achsel von dicken, verholzenden oder fleischig werdenden Deckblättern; die letztern sind dicht gedrängt auf einer kurzen Axe befestigt und setzen so dasjenige zusammen, was in der botanischen Kunstsprache ein Zapfen heißt (A). Die Lage der Eichen bestimmt natürlich auch die Lage der Samen; diese sind (B) an der inneren Oberfläche der Zapfenschuppen befestigt, und zwar ohne von einem Fruchtblatte eingehüllt zu sein; eben deßwegen heißen sie nackte Samen. Ganz ähnlich verhalten sich die Staubgefäße;



Digitized by Google

statt von einer Blüthenhülle eingeschlossen zu werden, stehen sie zusammengedrängt gleich kleinen Schuppen auf der Oberfläche einer kurzen Axe; bei der Befruchtung ergießen sie ihren Pollen aus zwei Längsspalten. Während bei anderen Pflanzen alles dazu beiträgt, die Fortpflanzungsorgane mit vielgestaltigen und glänzenden Blättern zu umgeben, tritt die Blüthe bei den Nacktsamigen mit dem möglichst geringen Aufwande von Organen auf. Nackte Eier, von Deckblättern beschützt, und schuppenförmige Staubblätter sind Alles, was hier zur Befruchtung nothwendig ist. Bei dieser größten Einfachheit der Bildung kann es nicht Wunder nehmen, daß die Blüthen der Gymnospermen mit den Fortpflanzungsorganen der Gefäßkryptogamen und namentlich der Bärlapmoose eine gewisse äußere Aehnlichkeit behaupten; in beiden Fällen ist es die einfachste Benützung des Blattes zur Befestigung oder Hervorbringung der befruchtenden Substanzen oder der Keimkörner.

Neben der einfachen Blüthe steht das einfache Holz. Wir haben früher auseinandergesetzt, wie im Stamme der Dikotyledonen die Gefäßbündel sich in einen Kreis sammeln, wie die äußere, schmälere Hälfte dieses Kreises aus Bastfasern, die innere, breitere aus Holzzellen und Gefässen besteht. Die Gymnospermen gehören vermöge der Zusammensetzung ihres Embryo's und der Vereinigung ihrer Gefäßbündel auch zu den dikotyledonen Gewächsen; aber in ihrem Holzkörper fehlen die eigentlichen prosenchymatösen Zellen ganz, und die Gefässe, welche das Holz allein zusammensetzen, sind weniger lang und einförmiger, als die Gefässe anderer Stämme; man bezeichnet sie daher auch häufig nur als poröse Röhren. Es ist, als ob im Holze dieser Gymnospermen weder Gefässe noch Prosenchymzellen, sondern nur eine Mittelbildung beider vorhanden wäre. Durch diese Beschaffenheit des Stammes weichen die Nacktsamigen von den übrigen Geschlechtpflanzen wenigstens ebensosehr ab, als durch die Einfachheit ihrer Blüthen. Man rechnet sie

Digitized by Google

zwar gewöhnlich zu den Dikotyledonen; aber wenn man ihre bedeutenden Eigenthümlichkeiten ins Auge faßt, so wäre es vielleicht besser, sie überhaupt den andern, bedecktsamigen Geschlechtpflanzen als nacktsamige gegenüberzustellen. Zur Schilderung der Koniferen brauchen wir kaum mehr etwas zu sagen; von den Fichten, Tannen und Lärchen kennt Jedermann ihren Habitus, ihre quirlförmigen Aeste und ihre meist nadelförmigen Blätter. Die Cycadeen hingegen nähern sich durch ihre Gestalt mehr den Palmen; ihr cylindrischer, unverzweigter Stamm trägt an seiner Spitze einen Büschel von gefiederten Blättern. Die Koniferen gehören besonders den gemäßigten und kalten Gegenden der nördlichen und südlichen Halbkugel an; die Cycadeen dagegen leben jetzt ausschließlich in Ländern der heißen Zone.

Wir stellen diese Gymnospermen vorzüglich auch darum den übrigen Geschlechtpflanzen gegenüber, weil sie in Bezug auf ihr geognostisches Vorkommen ein ganz eigenthümliches Verhalten zeigen. In der ersten großen Periode der Erdbildung, welche das silurische System, das Kohlengebirge und das permische System umfaßt (I. 439), fehlten alle eigentlichen Dikotyledonen und auch von den Monokotyledonen ist es höchst zweifelhaft, ob wirklich Reste derselben in jenen ältesten Schichten der Erdrinde vorkommen. Es scheinen damals neben kolossalen Kryptogamen nur gymnosperme Phanerogamen die Festländer bewohnt zu haben. Zu ihnen gehörten sparsame Koniferengeschlechter; insbesondere aber rechnet Adolph Brongniart hieher mehrere Pflanzengattungen, welche sonst bald den Kryptogamen, bald den Phanerogamen beigezählt werden, so die Asterophylliten, die Sigillarien mit ihren mächtigen, als Stigmaria beschriebenen Wurzeln und die verschieden ausgelegten Nöggerathien. Ob auch Cycadeen in jener ältesten Flora vorgekommen sind, bleibt nach den bisherigen Untersuchungen noch zweifelhaft.

Wenn man es auch vorzieht, einige von den hier aufgezählten Gymnospermen noch zu den geschlechtlosen Pflanzen,

Digitized by Google

etwa zu den Farnkräutern oder Bärlapmoosen zu rechnen, so bleibt es doch jedenfalls sicher, daß schon in der ersten Vegetation der festen Erdoberfläche Geschlechtpflanzen neben geschlechtlosen vorhanden waren. Es zeigt dieses, wie weit die natürliche Anordnung der Pflanzen entfernt ist, in dem Auftreten der einzelnen Pflanzengruppen abstrakt logische Gesetze zu befolgen. Unter den ersten Landpflanzen fanden sich sogleich Repräsentanten der beiden Haupttypen, welche im Pflanzenreiche unterschieden werden. Nur wichen die damaligen Geschlechtpflanzen so sehr von den unsern ab, daß einzelne der angeführten, nacktsamigen Familien, nämlich die Asterophylliten, Sigillarien und Nöggerathien, jetzt durchaus nicht mehr an der Erdoberfläche existiren. Auf der andern Seite aber behaupteten in der ersten Periode der Erdbildung doch die Kryptogamen in Bezug auf Verbreitung und Mannigfaltigkeit der Formen entschieden die Oberhand über die Geschlechtpflanzen; sie machten eigentlich den pflanzlichen Charakter jener Periode aus, und man kann daher unbedingt mit Brongniart die erste Erdperiode als das Reich der Gefäßkryptogamen bezeichnen.

Mit dem Anfange der zweiten Erdperiode, mit der Trias, änderte sich der Charakter der Vegetation. Die nacktsamigen Gewächse, welche bisher nur untergeordnet neben den Gefäßkryptogamen aufgetreten waren, erlangten jetzt das Uebergewicht; ihre Formen erschienen nur im Anfange noch völlig eigenthümlich, und schlossen sich bald den jetzt lebenden Familien, den Koniferen und Cycadeen an. Vom bunten Sandstein bis zur Kreide hinauf erstreckt sich das Reich der Gymnospermen. In seiner unteren Hälfte sind die Koniferen, in seiner oberen die Cycadeen vorherrschend. Die Gefäßkryptogamen treten in geringerer Zahl auf und reihen sich mehr den jetzigen Formen an. Monokotyledonen sind in diesem Gebiete noch zweifelhaft; bedecktsamige Dikotyledonen sind entschieden noch nicht gefunden worden. Erst die Kreide macht in dieser Beziehung den Uebergang zu der folgenden, tertiären Periode; in ihren Schichten werden Reste

Digitized by Google

von Palmen, von weidenähnlichen und birkenähnlichen Bäumen gefunden.

Erst mit der tertiären Periode beginnt indeß das Reich der bedecktsamigen Gewächse oder Angiospermen. Hier traten Monokotyledonen und Dikotyledonen, deren Unterschied mehr auf dem Bau des Stammes, als auf der Bildung der Blüthen beruht, zu gleicher Zeit auf. Während der Ablagerung der Kreide hielten die Gymnospermen den Angiospermen noch das Gleichgewicht; in der tertiären Zeit wurden die letzteren bedeutend überwiegend. Palmen traten in bedeutender Entwicklung auf, und zwar finden sich ihre Reste vorzüglich in den tertiären Schichten mittleren Alters. In den jüngsten Schichten überwiegen bedeutend die bedecktsamigen Dikotyledonen. Ihre Formen sind meist baumartig und gehören sehr verschiedenen Familien an. Es gehören dahin Birken, Erlen, Eichen, Buchen, Ulmen, Weiden und Pappeln, Wallnußarten, Ahorne, Linden, Eschen, Birn- und Pflaumenarten, rosenartige Gewächse, Heidekräuter, endlich Pflanzen mit schmetterlingsförmigen Blüthen. Die Mehrzahl dieser dikotyledonen Pflanzen stimmt darin überein, daß ihre Blüthe nicht vollkommen ist, daß ihr insbesondere eine gehörig ausgebildete, zu Kelch und Blumenkrone entwickelte Blüthenhülle fehlt. Diese Bemerkung gewinnt an Wichtigkeit, wenn man mit Ad. Brongniart bedenkt, daß gerade die Pflanzen mit verwachsenblättrigen Blüthenhüllen in den tertiären Schichten der Erdrinde, also überhaupt im fossilen Zustande beinahe ganz fehlen. Es scheint, daß in diesen Pflanzen die Blätter der Blüthenhülle durch ihre gegenseitige Verwachsung sich am meisten von dem Verhalten der gewöhnlichen Blätter abgewendet, und die größte Umwandlung für die Zwecke der Blüthe erfahren haben. Daher wird von manchen Botanikern diese verwachsenblättrige, gamopetale Blüthenbildung als die höchste angesehen.

Hält man diese letzte Ansicht fest und behauptet man ebendamit, daß die höchste Form der dikotyledonen Blüthe erst in

Digitized by Google

der jetzigen Ordnung der Dinge sich vollständig entwickelt habe, so ergibt sich für die Aufeinanderfolge der fossilen Pflanzen überhaupt ein einfaches, ungezwungenes Gesetz. Seit Festländer, seien es nun Inseln oder zusammenhängende Continente, an der Erdoberfläche existirt haben, ist dieselbe sowohl von geschlechtlosen als von Geschlechtpflanzen bewohnt gewesen. Aber im Anfange überwog die erstere Abtheilung so sehr, daß deutlich wird, es sei der eigentliche Charakter jener frühesten Vegetation eben die vollkommenste Ausbildung der Gewächse mit geschlechtloser Fortpflanzung gewesen. Es war offenbar eine höhere Stufe, wenn vom bunten Sandsteine an die Geschlechtpflanzen das Uebergewicht erhielten. Aber die Gymnospermen, welche zuerst die ganze Abtheilung repräsentirten, zeigten in ihrer Blüthen- und Fruchtbildung nur gleichsam die einfachsten Grundlinien von denjenigen Formen, welche später auftreten und die Blüthe zum eigentlichen Mittelpunkt der pflanzlichen Gestaltung erheben sollten. Die angiospermen Pflanzen, und zwar sowohl Monokotyledonen als Dikotyledonen erschienen mit großem Formenreichthum in der tertiären Zeit. Aber die höchste Ausbildung der Blüthe, die Verwachsung der Blüthenhüllblätter und die scharfe Trennung von Kelch und Blumenkrone scheint in der tertiären Zeit nur angedeutet, in der jetzigen Ordnung der Dinge aber erst völlig verwirklicht worden zu sein. Auf diese Weise hat nicht so sehr das Wachsthum, der innere Bau und die äußere Gestalt der Pflanzen überhaupt, als die Entwicklung der Fortpflanzungsorgane jenen Fortschritt bezeichnet, welcher in den Stufen der fossilen Flora von ihren ersten Anfängen bis zu ihrem Uebergange in die jetzige Vegetation deutlich erkannt wird.

Diese Stufenfolge umfaßt nur die eine Seite der allgemeinen Entwicklung des Pflanzenreiches; es ist diejenige, welche mit der Organisation der Pflanzen selbst aufs innigste zusammenhängt. Eine zweite Seite schließt sich aber unmittelbar an die erste an. Mit der Umwandlung der Organisation näherten

Digitized by Google

sich die Pflanzen der Erde immer mehr denjenigen Formen, welche jetzt die Erdoberfläche bewohnen. Die tiefsten Schichten der Erdrinde enthalten nicht blos eigenthümliche Species, sondern auch Gattungen und sogar Familien von eigenthümlicher Bildung. Je mehr man zu den höheren Schichten emporsteigt, desto überwiegender werden zuerst Pflanzenfamilien und dann auch Gattungen aus der jetzigen Pflanzenwelt. Die tertiären Pflanzenformen endlich gehören zum größten Theile jetztlebenden Gattungen an, und verhalten sich nur als eigenthümliche Species. So schritt die Vegetation der Erde stufenweise bis zu ihrem jetzigen Zustande fort. Auf dieser Bahn erlitt sie aber noch eine dritte Veränderung: die Zahl der Pflanzen überhaupt und die Zahl der einzelnen Species insbesondere nahm fortwährend zu. Wie jedes einzelne pflanzliche Individuum, so entwickelte sich auch das ganze Pflanzenreich von einem kleinen und einfachen Ursprunge aus zu einer mächtigen Masse und zu einer reichen Mannigfaltigkeit von Gestalten. Und dieser Uebergang vom Einfachen zum Vielgestaltigen hing noch viertens mit einer Umwandlung des Pflanzenreiches zusammen, welche schon früher abgehandelt worden ist (I. 457); mit der Ausbildung der Continente und der Klimate hielt auch die Fixirung der mannigfaltigeren Pflanzenformen an besondere Wohnsitze gleichen Schritt.

Kryptogamen und Phanerogamen, Gymnospermen und Angiospermen, Monokotyledonen und Dikotyledonen leben jetzt neben einander auf der Erdoberfläche. Aber das Verhältniß der einzelnen Gruppen, welches schon in der tertiären Zeit sich auszubilden anfing, ist in der jetzigen Vegetation noch viel schärfer ausgeprägt; die Gefäßkryptogamen und Gymnospermen haben an Ausbreitung und an kolossaler Größe der Gestalt verloren; die bedecktsamigen Geschlechtpflanzen sind unbedingt die herrschenden geworden. Die Vertheilung der Gewächse an der jetzigen Erdoberfläche ist seit Alexander von Humboldt vielfach untersucht und dargestellt worden; aber es fehlt doch noch an einer Auf-

Digitized by

fassung der Pflanzengeographie, welche im Stande wäre, die Grundzüge dieser Wissenschaft in wenigen Momenten an den Augen des Lesers vorüberzuführen.

Bei dieser Vertheilung der Pflanzen an der jetzigen Erdoberfläche gilt vor Allem die Regel, daß von den Polen bis zum Aequator die Zahl der Pflanzenspecies fortwährend zunimmt; ob die Individuenzahl gleichfalls wächst, muß bis jetzt noch dahingestellt bleiben. Zwischen Polen und Aequator findet sich also ein ähnlicher Fortschritt von größerer Einfachheit zu größerer Mannigfaltigkeit, wie er zwischen der silurischen und der tertiären Zeit beobachtet wird. Man bringt nun gern den größeren Formenreichthum der Aequatorialgegenden mit der höheren Temperatur derselben in Zusammenhang; aber die Ursache muß irgendwo anders liegen; denn wie könnte die höhere Temperatur einmal, nämlich in der Jetztzeit, mit der größeren Mannigfaltigkeit und ein anderes Mal, nämlich in der silurischen Zeit, mit der größeren Einfachheit der Pflanzenformen zusammenhängen? Wir müssen zugestehen, daß dieser Gegensatz zwischen Polen und Aequator bis jetzt durchaus keine Erklärung zuläßt. Ebensowenig sind wir im Stande, die Gesetze tiefer zu begründen, welche für die Verbreitung der Monokotyledonen und Dikotyledonen an der jetzigen Erdoberfläche gelten. Im Allgemeinen überwiegen die Dikotyledonen die Monokotyledonen um ein Bedeutendes an Zahl der Species. Aber dieses Verhältniß ist am größten in der heißen, am geringsten in der kalten Zone; nach A. v. Humboldt verhalten sich die Dikotyledonen zu den Monokotyledonen in der heißen Zone = 6 : 1, in der gemäßigten = 4 : 1, in der kalten = 3 : 1, an einzelnen Punkten sogar = 2 : 1. Umgekehrt steigt das Verhältniß, wenn man sich von der Meeresfläche bis zu den Gipfeln der Hochgebirge erhebt; in den Thälern der Schweiz ist es = 4 : 1, auf Höhen von 7000 und 8000 Fuß = 6 : 1, ja an einzelnen Punkten sogar = 9 : 1.

Dieß sind allgemeine Gesetze für die Vertheilung der Pflan-

Digitized by Google

zen überhaupt und der Monokotyledonen und Dikotyledonen insbesondre. Was nun einzelne Pflanzenfamilien betrifft, so kann ihr geographisches Verhalten unmöglich verstanden werden, ehe die wesentlichen Charaktere einiger Hauptfamilien hervorgehoben worden sind.

Wir haben schon früher erwähnt, daß die Blüthenhülle bei manchen Pflanzen unvollkommen ist oder ganz fehlt, daß ferner die Geschlechtsorgane öfters auf zwei verschiedene Blüthen oder sogar Pflanzen vertheilt, also nicht in Einer Blüthe beisammen sind. Diese beiden Züge haben in vielen Fällen keine große Bedeutung für die Stellung der einzelnen Pflanzen. So stehen in der Familie der rosenartigen Gewächse neben den vollkommenen, mit Kelch und Blumenkrone, mit beiderlei Geschlechtsorganen versehenen Blüthen der Rosen, der Mandeln, der Spiräen auch Sanguisorba mit einfacher, viertheiliger Blüthenhülle und Poterium, dessen Geschlechtsorgane überdieß auf verschiedene Blüthen vertheilt sind. So macht es bei den Pflanzen mit zusammengesetzten Blüthen, wie bei den Astern, bei der Kornblume, beim Gänseblümchen, beim Löwenzahne oder Lattich, keinen wesentlichen Unterschied, ob einzelne Blüthchen mit beiden oder nur mit einerlei oder auch mit gar keinen Geschlechtsorganen versehen sind. In Familien, deren Gattungen der Mehrzahl nach vollkommene Blüthenhüllen und vereinigte Fortpflanzungsorgane besitzen, können demnach einzelne Gattungen vorkommen, welche in der einen oder in der andern Beziehung von den übrigen abweichen; aber der Hauptcharakter der Familien liegt dann auch nicht in diesen Beziehungen. Im Gegentheile wird es unter Dikotyledonen und Monokotyledonen bei einzelnen Gruppen zum allgemeinen und auszeichnenden Charakter, daß ihre Blüthenhüllen mangelhaft oder daß ihre Fortpflanzungsorgane nicht vereinigt sind.

Man faßt die dikotyledonen Pflanzen, welche durch mangelhafte Blüthenhüllen und meist auch durch getrennte Geschlechter sich auszeichnen, unter dem Namen der Monochlamydeen zusammen. Ueberschaut man die Gattungen dieser Gruppe, so

Digitized by Google

ist einleuchtend, daß in ihr fast alle Bäume unserer Wälder und Haine enthalten sind. Hier stehen Fichten, Tannen und Lärchen, dann Weiden und Pappeln, Birken und Erlen, endlich Eichen, Buchen und Wallnüsse. Wo man durch die Wälder der gemäßigten Zone wandelt, trifft man also fast nichts, als Bäume mit unvollkommener oder ganz fehlender Blüthenhülle und mit getrennten Geschlechtern.

Diese Thatsache macht es möglich, für das Verständniß der genannten Gruppen einige Winke zu geben. Von den höheren Gewächsen umfassen jene Familien gerade diejenigen Gattungen, welche sich durch ihr geselliges Vorkommen vor andern auszeichnen; und zwar gesellen sie sich theils zu Pflanzen ihrer Gattung und Species, theils zu andern Monochlamydeen. Dieses gesellige Zusammenleben erleichtert bei Pflanzen mit getrennten Geschlechtern die Befruchtung in hohem Grade; denn, wenn auch bei vielen jener Gattungen die Geschlechter noch auf Einem Baume beisammen sind, so ist doch die Ueberführung des Pollens auf die Narbe viel mehr gesichert, wenn eine größere Zahl von Bäumen derselben Species sich an einem und demselben Orte befindet. Die ausgeprägtesten von diesen Pflanzen, nämlich die nacktsamigen Nadelhölzer sind auch zugleich diejenigen, welche durch ihr geselliges Auftreten ganzen Landstrichen einen bestimmten Stempel aufdrücken. Wenn man auf der nördlichen Hemisphäre sich der kälteren gemäßigten und der kalten Zone oder den Höhen der Gebirge nähert, so treten verschiedene Arten von Fichten, Tannen und Lärchen in größeren Massen, zu Wäldern vereinigt, auf. Auch der südlichen Halbkugel fehlen nicht entsprechende Familien; das gemäßigte Südamerika hat seine Araucarien und Cypressen, Neuholland, Hinterindien und viele Südseeinseln die Formen der Casuarinen. Gegenüber von diesen Nadelhölzern erscheinen die Laubhölzer weniger charakteristisch. Doch zeigen sie in den gemäßigten Zonen immer breite und zarte Blätter; in wärmeren Gegenden treten immergrüne Bäume, wie Lorbeer- und Oelbäume, auf, und die heiße Zone

Digitized by Google

hat wieder ihre eigenen Formen von dikotyledonen Bäumen. Wirkliche Wälder werden von den Laubhölzern nur in der gemäßigten Zone gebildet.

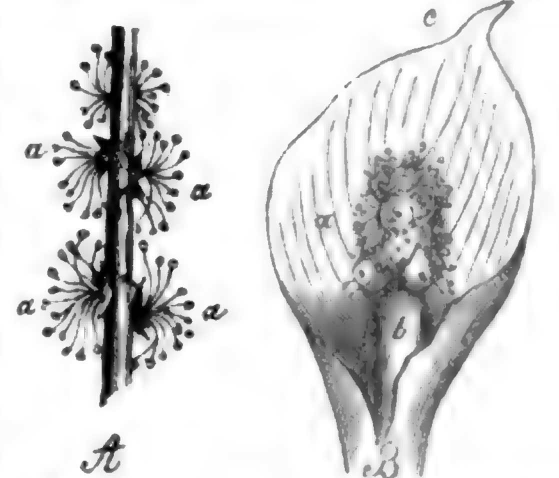
Die auszeichnenden Bäume der heißen Gegenden der Erde gehören dagegen vorzüglich unter die Monokotyledonen, in die Familie der Palmen. Zwischen Nadelhölzern und Palmen erscheint die Erdoberfläche getheilt; jene zeichnen die gemäßigte und kalte, diese die warme Zone beider Hemisphären aus. Im Allgemeinen sind gleichartige Wälder unter dem Aequator viel seltener, als gegen die Pole hin; aber manche Palmen wachsen doch auch gesellschaftlich und in größerer Zahl beisammen. So werden sumpfige Gegenden der Philippinen und Molucken von einer niederen Palmenart bedeckt; so setzen die Dattelpalme Afrika's und der Cocosnußbaum Indiens und der Südseeinseln größere oder kleinere Wälder zusammen. Die Familie der Palmen umfaßt bei Weitem die Mehrzahl der monokotyledonen Bäume. Wir dürfen wohl auch bei ihnen das gesellige Wachsthum mit der Vertheilung der Geschlechtsorgane in Beziehung setzen; die Blüthen sind fast immer eingeschlechtig, und beide Geschlechter stehen auf Einem Individuum beisammen. Dagegen fehlt es den Palmen nicht an einer doppelten, wohlgebildeten Blüthenhülle.

Die Beschaffenheit der Geschlechtsorgane ist nur der eine wichtige Charakter, welchen die verbreitetsten Bäume und insbesondere die Nadelhölzer und Palmen mit einander gemein haben. Ein zweiter bezieht sich auf die Art und Weise, wie die Blüthen am Stengel vertheilt sind. Es ist daher nothwendig, einiges Allgemeine über den Blüthenstand einzuschalten. Bei vielen Pflanzen, z. B. bei der Rose, bei der Nelke, stehen die Blüthen am Stengel einzeln und ohne bestimmte Wechselbeziehung. Aber in zahlreichen anderen Fällen ist eine gewisse Anzahl von Blüthen sich so genähert, daß sie zusammenzugehören scheinen; die Art und Weise dieser Gruppirung werden häufig für einzelne Pflanzen und für ganze Pflanzenfamilien

Digitized by Google

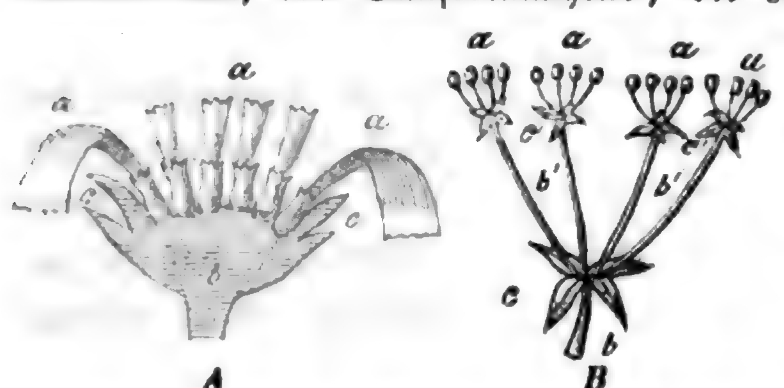
besonders charakteristisch. Je nach der Länge der Blüthenstiele, je nach dem Ursprunge derselben aus dem Stengel oder Zweige, endlich je nach der Ordnung des Aufblühens hat man verschiedene Blüthenstände unterschieden. Wie in den Blüthen überhaupt manche Eigenschaften der Pflanze erst ihre volle und klare Bedeutung erhalten, so geschieht es auch mit diesem Stande der Blüthen; man untersucht hier genau die Blüthenstiele, man leitet aus ihnen wesentliche Kennzeichen ab, während die übrige Zweigstellung der Pflanzen meist allzusehr vernachläßigt wird; und doch läßt sich auch aus dieser sehr häufig, namentlich bei den Kronen der Bäume auf die ganze Natur der Pflanzen zurückschließen.

Der einfachste Fall des Blüthenstandes ist derjenige, wo an den Seiten einer Axe kurzgestielte, oft auch ungestielte Blüthchen sich befestigen, deren Aufblühen von unten nach oben geschieht. Man nennt diesen Blüthenstand im Allgemeinen die Aehre; sie kommt z. B. bei den Orchisarten und bei den Halbgräsern vor. Auch die Blüthen der Gräser stehen in Aehren; aber diese sind wieder so untereinander verbunden, daß sie zusammengesetzte Aehren darstellen. In manchen Fällen erhalten die Aehren besondere Namen. So heißt man Kätzchen (A) eine Aehre von unvollkommenen, eingeschlechtigen, meist männlichen (a, a) Blüthen, welche nach dem Abblühen als Ganzes abfällt. Zu den kätzchentragenden Bäumen gehören die bekanntesten von unsern Laubhölzern, die Weiden, Pappeln, Birken, Eichen und Buchen. Dann wird als Kolben (B) eine Aehre beschrieben, deren Axe (b) dick, fleischig, deren Blüthen (a) ungestielt sind, und welche als Ganzes von einem einfachen oder mehrfachen, großen Deckblatte (c) umgeben wird. Dieser Kolben ist einfach bei Calla (B) und Arum; er wird verzweigt bei den Palmen. Endlich gehört unter die



Aehren auch der Zapfen, wie ihn die verholzenden oder fleischig werdenden, eiertragenden Deckblätter der nacktsamigen Gewächse und insbesondere unsrer Nadelhölzer darstellen. Wenn die Blüthen längere Stiele bekommen, so entsteht aus der Aehre die Traube, wie bei der Hyacinthe. Werden die Stiele noch länger und verzweigt, wie bei der Syringe, so heißt der Blüthenstand die Rispe.

Der Aehre steht zunächst das Köpfchen gegenüber; hier befestigen sich kurzgestielte oder ungestielte Blüthen nicht an der Seite, sondern an dem Ende einer Axe. Eine besondere Abart des Köpfchens bildet die zusammengesetzte Blüthe oder das Körbchen der Compositen oder Syngenesisten, der Sonnenblume, des Gänseblümchens, der Kornblume und des Lattichs. Hier (A) verdickt sich die Axe an ihrem Ende (b), und trägt eine größere oder kleinere Zahl von ungestielten Blüthen (a, a),



welche sehr oft am Rande zungenförmig, in der Mitte röhrenförmig erscheinen; der ganze Blüthenstand wird von einer einfachen oder doppelten Reihe von Deckblättern (c, c) umgeben. Erhalten die Blüthen des Köpfchens längere Stiele, so entsteht daraus die Dolde des Schierlings, der gelben Rübe, der Petersilie, des Anis und Fenchels; sie ist meist verzweigt (B), und an den Stellen, wo die ersten (b′) und zweiten Blüthenstiele abgehen, befinden sich meist Kreise von Deckblättern (c und c′). Der korbartige und der doldenartige Blüthenstand sind weit verbreitet und in hohem Grade charakteristisch; bei dem ersteren findet sich immer zugleich eine Verklebung der fünf Staubbeutel zu einem hohlen Cylinder, aus welchem der zweitheilige Griffel hervorragt; die Doldenpflanzen haben immer fünf freie Staubgefässe und zwei Griffel.

Digitized by Google

Dieß sind die vorzüglichsten Blüthenstände, welche überhaupt im Pflanzenreiche vorkommen; sie sind öfters mit den übrigen Charakteren der Pflanze aufs innigste verkettet. Wir haben aber nach dieser kurzen Schilderung wieder zu dem Punkte zurückzukehren, an welchen wir sie anknüpften, nämlich zu den gesellig wachsenden Waldbäumen, zu den Nadelhölzern, Laubhölzern und Palmen. Die Blüthenstände aller dieser Gewächse gehören in die Klasse der Aehren. Die Neigung, sich zu größeren Gruppen zu vereinigen, scheint hier von den ganzen Pflanzen sich auch auf die Blüthen auszudehnen, und zwar sind es vorzüglich die männlichen Blüthen, welche bei jenen Familien in Kätzchen auftreten. Dazu kommt aber die unvollkommene Blüthenbildung, welche fast bei allen dikotyledonen Bäumen und vorzüglich bei den Nadelhölzern beobachtet wird. Wo sich die Einzelblüthe einem größeren Ganzen, einem Blüthenstande unterordnet, wo sie insbesondere nicht beide Fortpflanzungsorgane in sich enthält, da scheint sie auch nicht den höchsten Grad der selbständigen Ausbildung zu erreichen; sondern wie in diesen Fällen die Befruchtung nur durch Zusammenwirken mehrerer Blüthen zu Stande kommt, so weist auch die Formbildung der Blüthe auf den Blüthenstand als das verbindende Ganze hin. Wenn wir also früher die Blüthenbildung und das gesellige Auftreten der hauptsächlichsten Waldbäume mit dem Vorgange der Befruchtung in Zusammenhang setzten, so gewinnt jener Charakter durch die Betrachtung ihres Blüthenstandes jetzt eine zweite, morphologische Aufklärung.

Diese Anschauungsweise wird noch klarer werden, wenn wir auf andre Pflanzen hinweisen, deren Blüthen gleichfalls in Aehren stehen. Dahin gehören die pfefferartigen Gewächse, welche dem heißen Afrika und Asien, vorzüglich aber dem heißen Amerika eigen sind; dahin die Pothosgewächse, welche durch große und prachtvolle Formen die Wälder des tropischen Amerika's auszeichnen, und bei uns nur durch kleine Gattungen, Arum und Calla repräsentirt sind. Vorzüglich aber

muß hier die Familie der Gräser erwähnt werden. Die kleineren Gattungen dieser Gruppe bilden in den gemäßigten Zonen ausgedehnte Wiesen und Triften, oder werden als Getreide in allen gemäßigten Klimaten der Erde angebaut. In der heißen Zone aber erheben sich die Gräser zu höheren Formen. Hier liefert das Zuckerrohr als Kulturpflanze den Rohrzucker; baumartige Bambusen vereinigen sich zu ausgedehnten, undurchdringlichen Wäldern. Auch die Blüthen der Gräser stehen in Aehren; ihre Blüthenhülle ist unvollkommen, aber umschließt fast immer zweierlei Fortpflanzungsorgane. Bei den verwandten, geselligwachsenden Halbgräsern sind die Fortpflanzungsorgane meist auf zwei Blüthen mit unvollkommener oder fehlender Hülle vertheilt. Gegenüber den baumartigen Nadelhölzern, Laubhölzern und Palmen stellen die Gräser vorzüglich die niederen und krautartigen unter den geselligwachsenden Pflanzen dar.

Unter den verbreitetsten, geselligen Gewächsen der Erdoberfläche stehen die ährentragenden Familien obenan. Wir haben gezeigt, wie einzelne Formen und Familien derselben für einzelne Erdstriche besonders charakteristisch werden. Die Bedeutung der Doldenpflanzen und Compositen ist nicht so groß; aber sie sind doch einzelnen Gegenden der Erde eigenthümlich. So gehören die ersteren fast ganz der nördlichen gemäßigten Zone der alten Welt an. Auch die Compositen treten vorzüglich in den gemäßigten Zonen beider Hemisphären auf; im gemäßigten Südamerika werden sie durch größere, holzartige Formen repräsentirt.

Was wir bisher von der Bedeutung der eigenthümlichen Blüthenstände für die geographische Vertheilung mehrerer Pflanzenfamilien gesagt haben, darf keineswegs so verstanden werden, als ob der geographischen Eigenthümlichkeit auch immer eine Eigenthümlichkeit des Blüthenstandes entspräche. Der Blüthenstand dient nicht zur Charakterisirung der Pflanzenfamilien überhaupt; sondern er ist nur einer von jenen Charakteren, auf welche es bei der Bestimmung der Familien vorzüglich ankommt.

Digitized by Google

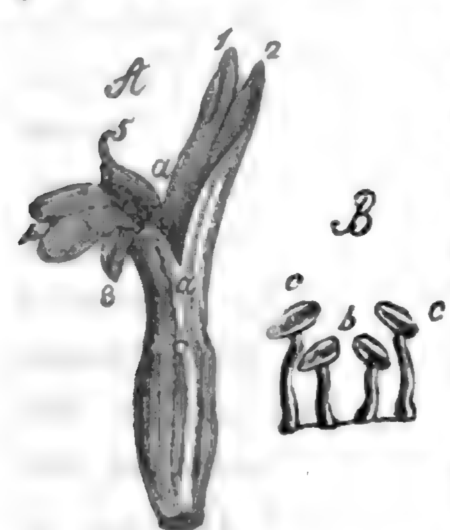
Und wie scharf ausgeprägte Blüthenstände, als hervorstechende Familiencharaktere, zugleich einzelne Erdstriche auszeichnen, so kann jede andere Eigenthümlichkeit der Organisation, wenn sie nur überwiegend sich ausbildet, auch eine pflanzengeographische Bedeutung gewinnen. Nicht jene Familien sind geographisch wichtig, welche mehr durch die Gesammtheit der Charaktere, als durch einzelne, dominirende Eigenthümlichkeiten sich auszeichnen, und welche ebendamit weniger die hervorstechenden Extreme, als die Uebergänge des vegetabilischen Reiches darstellen. Dem ausgeprägten geographischen Charakter entspricht in der Regel eine scharf begränzte Eigenthümlichkeit der pflanzlichen Organisation.

Die Familie der Compositen führt uns hier zunächst auf einen Charakter, welcher nur in einzelnen Fällen noch mit dem Blüthenstande in Beziehung steht. Wenn man das Köpfchen der Sonnenblume untersucht, so erscheinen nur die mittleren Blüthen röhrenförmig; die Randblüthen sind nach Einer, und zwar nach der äußeren Seite hin zungenförmig ausgedehnt. Es ist klar, daß hier die Blumenkrone zweierlei Formen, eine regelmäßige und eine unregelmäßige annimmt. Dieser Gegensatz muß bei der Blüthenhülle und bei der Blüthe überhaupt unterschieden werden. Die *regelmäßige* Blüthe kann durch mehrere senkrechte Ebenen, die man durch ihre Mitte legt, immer in zwei gleiche Hälften getheilt werden. Bei der *unregelmäßigen* Blüthe ist dieß nicht möglich; und zwar kann eine solche Blüthe überhaupt nicht gleichmäßig halbirt werden, oder ist dieses noch in Einer Richtung möglich; die letzteren Blüthen heißen dann *symmetrisch*. Unter die letzte Klasse gehören die zungenförmigen Blumenkronen vieler Compositen. Zugleich ist in dieser Familie der Ursprung der Unregelmäßigkeit klar; die gedrängt stehenden Blüthen breiten nur nach der Peripherie hin, also einseitig den Saum ihrer Blumenkrone aus. Dasselbe geschieht in vielen Fällen, wo die Blüthen in Köpfchen eng bei einander stehen; so treiben die Randblüthen der Scabiosen lange Zipfel an dem äußeren Theile ihrer

Digitized by Google

Blumenkronen hervor. Auch bei den Doldenpflanzen breitet sich der Saum der äußersten Blüthen nach der Peripherie hin besonders aus.

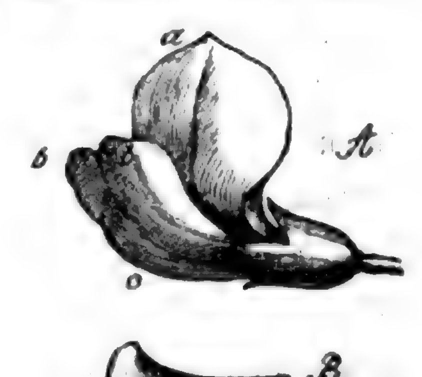
Bei vielen anderen unregelmäßigen Blüthen fehlt ein solcher Zusammenhang mit dem Blüthenstande, und es bleibt dann nichts übrig, als in der Einzelblüthe selbst und in ihren Bildungsgesetzen den Grund für diese Abweichung zu suchen. In solchen Fällen beschränkt sich die Unregelmäßigkeit nicht auf die Hüllen, sondern geht durch alle Theile der Blüthe und namentlich auch durch die Fortpflanzungsorgane hindurch. Es gelingt dann bisweilen nachzuweisen, wie die unregelmäßigen Blüthen mit verwandten, regelmäßigen zusammenhängen. So herrscht, wie wir früher zeigten, die Zahl 5 in der Blattstellung der Dikotyledonen vor; fünf Kelchblätter, fünf Blumenkronenblätter, fünf Staubgefässe und fünf Carpelle sind in den dikotyledonen Blüthen sehr häufig. Indem nun aber Ein Staubgefäß fehlschlägt, indem statt fünf Carpellen sich nur zwei entwickeln, wird der fünftheilige Typus in einen zweitheiligen umgewandelt. Hierauf beruht die Bildung der zweilippigen Blüthen. Die



Blumenkrone (A) dieser Blüthen ist verwachsenblättrig; der ausgebreitete Saum zeigt deutliche Einschnitte; und zwar sind noch leicht fünf Zipfel zu zählen, nur daß nicht alle sich gleichmäßig entwickelt haben. Zwischen den zwei obern und den drei untern Blumenkronenzipfeln liegt ein tiefer Einschnitt (a, a), welcher die Gränze der obern und untern Lippe bezeichnet. Die Staubgefässe sind auf entsprechende Weise entwickelt. Eines von fünf ist fehlgeschlagen, und die vier übriggebliebenen (B) verhalten sich so, daß zwei kürzere (b) der Oberlippe, zwei längere (c, c) der breiteren Unterlippe entsprechen. Von fünf Carpellen sind auch nur zwei vorhanden.

Digitized by Google

Die Zurückführung der symmetrischen Blüthe auf die regelmäßige gelingt also in dem Falle der zweilippigen Blüthe ohne Schwierigkeit. Aehnlich verhält sich unter den Blüthen mit freien Blumenkronenblättern die schmetterlingsförmige Blüthe. Hier halten der Kelch und die Blumenkrone die Zahl 5, die Staubgefässe die Zahl 10 fest; aber statt fünf Fruchtblättern entwickelt sich nur Eines, und dieses scheint den Mittelpunkt für die unregelmäßige Form der Blüthe zu bilden. Das obere Blumenblatt (A) wird zu der großen und breiten Fahne (a); die zwei seitlichen bilden die schmäleren Flügel (b, b) und die zwei unteren verschmelzen zu dem rinnenförmigen Kiele (c und B), in welchem Staubgefässe und Stempel liegen. Der Stempel entwickelt sich endlich zu einer einfächrigen, aufspringenden Frucht, zur Hülse, zum Legumen.



Diese Fruchtform macht den Hauptcharakter der ganzen Gruppe, der Familie der Leguminosen aus; sie bleibt auch in denjenigen Untergruppen, bei welchen, wie bei den Mimosen, die Blüthenhülle wieder zur regelmäßigen Bildung zurückkehrt.

Die Bildung der zweilippigen und der schmetterlingsförmigen Blüthen hängt immer auch mit andern Eigenthümlichkeiten der Organisation und mit einem bestimmten geographischen Verhalten zusammen. So zeichnet sich die Familie der Labiaten, bei welcher zweilippige Blüthen allgemein vorkommen, zugleich durch vierkantige Stengel und opponirte, kreuzweis gestellte Blätter aus. Ihr Verbreitungsbezirk ist vorzüglich die Umgebung des Mittelmeeres; es gehören dahin Salbei, Majoran, Münze, Lavendel und Rosmarin, alle durch ätherische Oele ausgezeichnet. Die Leguminosen zeigen zwar nur bei einem Theile ihrer Gattungen unregelmäßige, schmetterlingsförmige Blüthen; aber es dient die Hülsenfrucht und die Gegenwart von Nebenblättern an der Wurzel der Blattstiele als allgemeiner Familien-

Digitized by Google

charakter, und fast ebenso allgemein sind bei dieser Familie gefiederte, mit Gelenken versehene Blätter. Die Leguminosen mit Schmetterlingsblüthen verbreiten sich besonders in den gemäßigten Gegenden der Erde. Zwischen den Gräsern unserer Zone wachsen in reichlicher Menge der Klee, der Ginster, der Schneckenklee und Honigklee; in den Steppen der nördlichen Hemisphäre erscheinen in Menge die Arten des Traganths; zum Gegenstande der Kultur werden Erbsen, Linsen, Wicken und Bohnen. Aber die Mimosen, deren Blätter durch ihre feine Fiederung sich vor allen hervorthun, treten in größeren Massen nur zwischen den Wendekreisen auf; hier überziehen sie oft allein große Strecken, und es paßt ganz zu diesem geselligen Auftreten, daß ihre Blüthen sich in Köpfchen und Aehren zusammendrängen. Dieses Auftreten der Mimosen bewirkt, daß die Zahl der Leguminosen von den Polen gegen den Aequator hin bedeutend zunimmt.

Wir haben von den Pflanzenfamilien mit unregelmäßigem Blüthenbau die Labiaten und Leguminosen ausführlich abgehandelt, theils wegen ihrer allgemeineren Bedeutung, theils wegen ihres häufigen Vorkommens in der gemäßigten Zone. Von andern Familien sind hier zuerst die Cruciferen zu erwähnen; sie weichen von der regelmäßigen Blüthenbildung vorzüglich durch sechs Staubgefäße ab, von welchen vier länger sind, als die zwei übrigen. Ihr hauptsächlicher Bezirk ist die gemäßigte Zone der alten Welt; hier gehört zu ihnen der Senf, der Rettig, die Kresse und die verschiedenen Arten des Kohles.

Labiaten, Leguminosen und Cruciferen sind ausgezeichnete Familien aus der Abtheilung der Dikotyledonen. Von den Monokotyledonen sind wegen ihrer unregelmäßigen Blüthen zwei Familien, die Orchideen und die Scitamineen anzuführen. In beiden wird der ganze Bau der Blüthe durch die Zahl drei bestimmt; aber es ist besonders das Fehlschlagen von einem oder zwei Staubgefäßen, was die ganze Blüthe und besonders den inneren Kreis der Blüthenhülle unregelmäßig macht. Da-

Digitized by Google

durch entsteht bei den Orchideen eine symmetrische Blüthe mit herabhängender Lippe (a), bei den Scitamineen aber eine Blüthenbildung, welche nicht einmal mehr eine bestimmte Symmetrie erkennen läßt. Die Orchideen fehlen in der gemäßigten Zone nicht; in den Tropengegenden aber erreichen sie erst ihre volle Entwicklung, und zwar sowohl die reichste Zahl der Arten, als die größte Farbenpracht und die wunderbarsten Formen der Blumenkrone. Die Familie der Scitamineen tritt fast nur in den heißen Gegenden der Erde auf. Unter ihre baumartigen Formen gehören jene Bananen, welche auf dem ganzen heißen Erdgürtel kultivirt werden, und deren Pisangfrüchte den Bewohnern der Tropen das Getreide der gemäßigten Gegenden ersetzen.

Wir haben mit der Verschiedenheit des Blüthenstandes und mit der verschiedenartigen Ausbildung der Blüthe die wichtigsten Anhaltspunkte für die Umschreibung der einzelnen, geographisch wichtigen Familien bezeichnet. Es mag dieses beweisen, was wir gleich am Anfange dieses Kapitels sagten, daß für die systematische Anordnung der Pflanzen unter allen Charakteren diejenigen die wichtigsten sind, welche von der Blüthe hergenommen werden. In manchen Fällen ist es indeß nicht die Blüthe, sondern die allgemeine Gestalt, der Habitus, was den Familiencharakter vorzüglich begründet. So sind alle Kaktus durch unschöne, dicke, grüne, blattlose Stengel, daneben aber durch glänzende Blüthen ausgezeichnet; sie gehören eigenthümlich der neuen Welt zwischen 40° n. Br. und 40° s. Br. an. So scheinen auch die Heidekräuter vorzüglich durch ihren nadelholzähnlichen Habitus, durch ihre schmalen, nadelähnlichen Blätter unter einander verbunden zu sein. Sie leben gleich den Nadelhölzern fast immer gesellig; sie sind gleich diesen dem kälteren Theile der gemäßigten Zone eigen. Aber auf der nördlichen Hemisphäre, wo die Nadelhölzer ihre größte Entwicklung erlangen, bleiben die Heidekräuter niedere Sträucher; im Süden

Digitized by Google

hingegen und vorzüglich auf dem Kap der guten Hoffnung gleichen sie den Nadelhölzern auch durch ihren baumartigen Habitus. Fast alle Heidekräuter gehören in die Familie der Ericeen; in wenigen Ländern, und namentlich in Neuholland, werden diese durch die nahverwandten Epacriden vertreten. Die Heidekräuter sind den Nadelhölzern nur in ihrem Habitus ähnlich; ihrer Blüthenbildung nach gehören sie zu den vollkommensten Dikotyledonen.

Wir schließen hier den kurzen Ueberblick über einige der wichtigsten Pflanzenfamilien. Es konnte nicht unser Zweck seyn, nach der Reihe die hauptsächlichen Pflanzenfamilien mit ihren Charakteren und ihrer geographischen Verbreitung vorzuführen. Vielmehr genügt es, wenn nur einige der Hauptthatsachen durch diesen Ueberblick klar geworden sind. Vor Allem muß anerkannt werden, daß die botanische Eigenthümlichkeit fast immer auch einem bestimmten geographischen Verhalten entspricht, und dieß um so mehr, je schärfer der Familiencharakter in seiner Eigenthümlichkeit ausgeprägt ist. Ferner ging aus der bisherigen Darstellung hervor, daß in verschiedenen Familien verschiedene Seiten der Pflanze die schärfsten, dominirenden Charaktere liefern, daß indeß die Blüthe unter allen jenen Seiten obenan steht. Es ergab sich daraus ferner, daß nicht im Allgemeinen aus einem bestimmten Organe, sondern nur aus dem eigenthümlichen Charakter jeder Familie auch ihre geographische Bedeutung erkannt werden kann. Freilich ist für uns der Zusammenhang zwischen der Organisation und dem geographischen Auftreten einer Familie noch völlig äußerlich und nur auf einzelne Beobachtungen gegründet; im Allgemeinen und zum voraus können wir von keiner Familie sagen, warum sie gerade diesen und keinen andern Verbreitungsbezirk habe. Dieser Zusammenhang der botanischen und geographischen Eigenthümlichkeit eines Landstriches weist nothwendig auf die erste Erschaffung der Pflanzenformen hin. Wie die Species von einem bestimmten Geburtsorte aus sich nach allen Seiten hin ver-

Digitized by Google

breitet haben, so muß auch für den jetzigen Verbreitungsbezirk jeder Familie ein einfacher oder mehrfacher Ursprung angenommen werden.

Die Betrachtung der Pflanze ist mit den einfachsten Gesetzen des pflanzlichen Lebens begonnen worden. Wir schließen hier mit einem Blicke in die unendliche Mannigfaltigkeit des Pflanzenreiches, und ein banges Staunen ergreift uns, wenn wir aus den klaren Grundzügen der pflanzlichen Thätigkeit und Gestalt ein großartiges Bild sich entwickeln sehen, in dessen ungezählten, verwirrenden Einzelheiten der leitende Gedanke noch von keinem Forscher gefunden oder nur geahnt worden ist. Wir sind wohl im Stande, die Gesetze des pflanzlichen Lebens und insbesondere der pflanzlichen Gestalt in einzelnen Pflanzen nachzuweisen und die verwandten Pflanzen in natürliche Familien zusammenzufassen. Aber die Formel ist noch nicht entdeckt, durch welche die Anordnung des ganzen Pflanzenreiches aufgeklärt würde. Der Unterschied einer größeren oder kleineren Vollkommenheit, durch welche man so gern verschiedene Stufen der Pflanzenwelt bezeichnet hätte, reicht hier so wenig, als in irgend einem andern Gebiete der Schöpfung, zum Verständnisse der inneren Gliederung aus. In dem Geschaffenen selbst und nicht in abstrakten, logischen Sätzen muß das Wort gesucht werden, das dieses Räthsel lösen kann. Was bis jetzt gethan ist, kann nur als erster Versuch zu einer solchen Lösung gelten.

Uebersicht.

Wir haben gesagt (I. 177), in der Erregung und Wirksamkeit der polaren Naturkräfte sei das einfachste Vorbild für die Entwicklung der Organismen gegeben. In der That gibt es unter den natürlichen Vorgängen keinen, der sich mit dem Auseinandertreten der magnetischen, elektrischen und chemischen Kräfte in ihre entgegengesetzten Pole so gut vergleichen ließe,

Digitized by Google

als die Entstehung verschiedenartiger Organe aus dem einfachen, ungeschiedenen Keime der Pflanzen und Thiere. Wie die verschiedenen magnetischen und elektrischen Pole, wie die chemisch verschiedenen Stoffe sich aufs Neue begegnen und verbinden, so treffen, nur auf einer höheren Stufe, die Organe der Pflanzen und Thiere wieder am Ziele ihrer Entwicklung zusammen, um durch vereinigte Thätigkeit die Mannigfaltigkeit und Harmonie des organischen Lebens hervorzubringen. Die organische Entwicklung begreift gleichmäßig die Bewegung, den Stoffwechsel und die Gestalt. Aber die Gestaltbildung ist es doch vorzüglich, in welcher sich alle Stufen des organischen Lebens ausprägen.

In dem einfachsten pflanzlichen Keime, welcher das Embryokügelchen genannt wird, geschieht eine äußere und eine innere Scheidung; jene führt zur Wurzel, Stengel und Blatt, diese zu den verschiedenartigen Geweben, zu Parenchym, Oberhaut, langgestreckten Zellen und Gefäßen. Nur bei den niedersten Gewächsen, bei den geschlechtlosen Zellenpflanzen geschieht diese äußere und innere Scheidung gar nicht oder wenigstens nach keinem festen Prinzipe. Das Lager der Algen und Flechten nimmt verschiedene Formen an; aber es fehlt das leitende Gesetz, welches durch alle Formen von Blatt und Stengel hindurch verfolgt werden kann.

Wie die chemischen Grundstoffe in alle Körper eingehen, wie sie sowohl die unorganischen als die organischen Körper zusammensetzen, so treten die pflanzlichen Gewebtheile eigentlich als die Formelemente (II. 64) in allen pflanzlichen Organen auf. Nur bei den niederen Pflanzen, wo die einzelnen Zellen sich noch nicht zu bestimmten Geweben ausgebildet haben, kann man behaupten, daß einzelne Organe sich durch Zellen von ganz eigenthümlicher Bildung auszeichnen, so die Antheridien der Farnkräuter und Schafthalme durch wimpertragende Spiralfäden, die Sporangien der Algen durch wimpertragende Sporen. Aber die Geschlechtpflanzen, bei welchen innerlich und äußerlich bestimmte Gegen-

Digitized by Google

sätze aus dem ungeschiedenen Keime hervorgegangen sind, wiederholen sich in allen Organen dieselben Gewebe, und es ist nur eine verschiedenartige Gruppirung der Formelemente, eine überwiegende Ausbildung des einen oder des andern Gewebes, was einzelne Organe auszeichnet. Wenn diese Thatsache sich auf der einen Seite an unsern ersten, allgemeinen Abschnitt anschließt, wenn sie daran erinnert, wie überhaupt in der Natur allgemeine Kräfte und Gesetze sich durch alle Verschiedenartigkeit der einzelnen Erscheinungen hinziehen, so ergibt sich aus ihr zugleich das erste Gesetz der pflanzlichen und überhaupt der organischen Metamorphose, das Gesetz der Einfachheit oder Oekonomie. Mit demselben einfachen Material wird in dem Aufbau der Pflanze das Verschiedenste und Größte geleistet.

Auch in der äußern Gestalt der Pflanze müssen einzelne Fundamentaltheile unterschieden werden, welche unter den mannigfaltigsten Veränderungen doch immer ihre wesentlichen Eigenschaften behalten; wir haben dieselben wiederholt als Wurzel, Stengel und Blatt bezeichnet. Beim Blatte vorzüglich ist es klar, wie es in den verschiedensten Stellungen und Verhältnissen doch wesentlich dasselbe Organ bleibt. Gegenüber von dieser Oekonomie tritt aber in der äußeren Gestalt insbesondere das Gesetz der Mannigfaltigkeit hervor, jenes Gesetz, wonach weder Wurzel, noch Stengel, noch Blatt in zwei verschiedenen Pflanzen, sie mögen auch aus demselben Samen entsprungen sein, völlig dieselbe Gestalt erkennen läßt. Am auffallendsten ist diese Mannigfaltigkeit bei den Stufen, welche das Blatt vom Keimblatt bis zum Fruchtblatte durchläuft. Man könnte versucht sein, diese Mannigfaltigkeit ganz von wechselnden äußeren Einflüssen abzuleiten; aber vorzüglich die Entwicklung der Blattformen zeigt, daß dem Wechsel der Gestalt ein inneres Gesetz zu Grunde liegt, daß dagegen äußere Einflüsse nur sehr untergeordnete Veränderungen hervorzubringen vermögen.

Diese zwei Gesetze finden bei aller organischen Metamorphose ihre Geltung: der einfachste Grundplan wird in seiner

Digitized by Google

Ausführung aufs mannigfaltigste variirt. Diese Variationen sind nun zwar zunächst in Gesetzen der Gestaltung selbst begründet; aber sie hängen überdieß so genau mit Veränderungen der organischen Thätigkeit zusammen, daß sie am besten bei steter Vergleichung mit den letzteren anschaulich gemacht werden können.

So entspricht sogleich der Grundplan in der äußeren Gestalt der Geschlechtpflanzen, die Abtheilung in Wurzel, Stengel und Blatt, auch einigen Hauptseiten des pflanzlichen Stoffwechsels. Die Wurzel nimmt tropfbarflüssige Stoffe auf; der oberirdische Theil der Pflanze vermittelt Aufnahme und Ausscheidung von Gasen. Durch die Wurzel dringt vorzüglich Kohlensäure in die Pflanze ein; durch den oberirdischen Theil wird Sauerstoff als Resultat der Zerlegung der aufgenommenen Kohlensäure ausgehaucht. Der Stengel übernimmt mehr die Leitung und Aufbewahrung, die Blätter mehr die Verarbeitung der Säfte. Aber es muß hier sogleich dem Mißverständnisse begegnet werden, als ob das einzelne Organ nothwendig wäre zur Ausführung der übertragenen Thätigkeit. Bei den niedersten Kryptogamen, bei Algen, Pilzen und Flechten, fehlt der Unterschied von Stengel und Blatt, es fehlt eine wirkliche Wurzel vollständig, und was diese dreierlei Organe bei den höheren Pflanzen übernehmen, wird also dort von dem Lager ohne Mithilfe besonderer Organe ausgeführt. Dasselbe Verhältniß läßt sich leicht von den Fortpflanzungsorganen nachweisen. Nicht blos bei den Geschlechtpflanzen, sondern auch bei dem größten Theile der geschlechtlosen Pflanzen sind eigene Organe, Antheren, Samenknospen, Sporangien vorhanden, welche die Erzeugung neuer pflanzlicher Individuen vermitteln. Aber damit ist nicht ausgeschlossen, daß bei den niedersten Algen durch blose Theilung und bei allen übrigen Gewächsen durch Knospung neue Individuen entstehen, daß also die Fortpflanzung ohne besondere Organe vor sich geht.

Die Pflanze bedarf zur Ausführung aller wesentlichen Funktionen nichts, als die einfache Zelle, wie sie den ersten Pflanzen-

Digitized by Google

keim oder den Hämatokokkus des rothen Schnee's darstellt. Mit der Entwicklung der Organe geschieht nichts Anderes, als daß die einzelnen Funktionen vorzugsweise an einzelne Theile der Pflanze geknüpft werden. Diese Fixirung der Thätigkeiten bringt vor Allem eine größere Schärfe derselben hervor. Die Athmungsfunktion, die Aushauchung von Sauerstoffgas prägt sich bestimmter aus, wenn wohlgebildete Blätter dem Stengel gegenüberstehen. Das Produkt der Fortpflanzung trägt viel mehr die Charaktere eines neuen, eigenthümlich beschaffenen Individuums, wenn es nicht durch blose Theilung, sondern durch eigene Organe und besonders durch zweierlei Geschlechtsorgane entstanden ist. Aber nicht blos die Schärfe, sondern auch die eigenthümliche Art der Verwirklichung der Thätigkeit hängt mit dem Organe wesentlich zusammen. Fortpflanzung ist bei jeder einfachen Zelle möglich; aber die geschlechtliche Fortpflanzung verlangt besondere Apparate. Bewegung scheint vielen einfachen Pflanzenzellen zuzukommen; aber die Schlafbewegung z. B. findet sich nur bei Blattorganen, und zwar bei gegliederten Blättern. So ist die Thätigkeit vom einzelnen Organe zwar nicht schlechthin, aber doch relativ abhängig.

Abweichend von der Funktion verhält sich das Organ. Da dieses dem Ganzen der Pflanze nur als ein Einzelnes gegenübersteht, da es nur Einer Seite der pflanzlichen Thätigkeit dient, so kann es auch nur diejenige Funktion übernehmen, welche ihm vermöge seiner ganzen, inneren und äußeren Bildung angemessen ist. Die Wurzel kann nie den Stengel vertreten; sie treibt nie, wie dieser, Blätter hervor. Ebensowenig übernimmt das Blatt je die Funktion des Stengels, das Längewachsthum der Pflanze zu vermitteln. Stengelblätter entwickeln im normalen Zustande nie Samenknospen oder Pollenkörner. Die Blüthe schließt, wenn nicht Mißbildungen eintreten, immer die weitere Verlängerung der Axe aus. Diese innige Verkettung des Organes mit der Funktion bedingt aber nur, daß das Organ nicht eine wesentlich andere Funktion übernimmt; sie verhindert nicht,

Digitized by Google

daß bei Verkümmerung eines Organes blos ein Theil oder gar keine seiner Funktionen ausgeführt wird. So sondern viele Blumenkronenblätter an ihrer Basis einen zuckerhaltigen Nektarsaft ab. Bei manchen Pflanzen, wie beim Hahnenfuß, besteht diese Absonderung unbeschadet der andern Funktion der Blüthenhülle, als Decke für die Fortpflanzungsorgane zu dienen; aber bei verwandten Gattungen, wie beim Akelei, überwiegt immer mehr die Honigbereitung, und beim Rittersporn und Eisenhut sind von der fünfblättrigen Blumenkrone fast nur noch die zwei oberen Blätter als eigenthümlich gestaltete Honigbehälter vorhanden. Hier bleibt also noch ein Theil der Funktion übrig; wenn hingegen, wie bei den Labiaten und Orchideen, einzelne Staubgefässe fehlschlagen, so findet man von ihnen im Grunde der Blüthe oft noch zapfenförmige Rudimente, die sogenannten Staminodien, welche morphologisch, aber nicht mehr funktionell als Staubgefässe zu betrachten sind.

Man könnte glauben, dieses Gesetz von der innigen Verbindung der Thätigkeit mit dem Organe erleide eine bedeutende Beschränkung, wenn nicht eine völlige Aufhebung durch eine Thatsache, welche bei allen kaktusartigen Gewächsen beobachtet wird. Wenn wirklich Stengel und Blatt verschiedene, durch bestimmte Funktionen ausgezeichnete Organe der Pflanze sind, so könnte es unmöglich erscheinen, daß, wenn die Blätter fehlschlagen, der Kaktusstengel die Funktion des Stengels und des Blattes zugleich übernehme. Dieser scheinbare Widerspruch löst sich aber, wenn man die verschiedenen Beziehungen der Organe ins Auge faßt. Man hat hier nämlich dreierlei Beziehungen zu unterscheiden, zwischen Wurzel und oberirdischer Pflanze, zwischen Stengel und Blatt, endlich zwischen Vegetations- und Fortpflanzungsorganen.

In dem Embryo der Geschlechtpflanzen bilden sich, sobald er länglich wird, zwei Endpunkte aus, von welchen der eine zum oberirdischen, der andere zum unterirdischen Theil der Pflanze sich entwickelt. Von diesen beiden Theilen geht also

Digitized by Google

keiner aus dem andern hervor, sondern beide entstehen aus einem dritten, aus dem ungeschiedenen Embryokügelchen. Demnach sind schon beim ersten Ursprunge die Wurzel und die oberirdische Pflanze sowohl dem Bildungsmaterial als der Richtung nach wesentlich von einander verschieden gewesen. Es erklärt sich hieraus, daß die Wurzel und der oberirdische Pflanzentheil auch späterhin nach Thätigkeit und Gestalt sich scharf von einander unterscheiden und sich nie vertreten oder ersetzen können. Wir haben die Wurzel als abwärts gerichtet, als blattlos und mit Fasern ohne Regel besetzt, den Stengel aber als aufwärts wachsend, als beblättert und durch regelmäßige Blatt- und Zweigstellung ausgezeichnet schon früher geschildert. Ebenso ist von der funktionellen Verschiedenheit beider Pflanzentheile wiederholt gesprochen worden. Oberirdische Zweige können nie Wurzelfasern ersetzen, und ebensowenig können Wurzelfasern je Blätter tragen; sondern nur durch völlige Neubildung und unter besonders günstigen Umständen kann die Wurzel blatttragende Knospen und der Stengel junge Wurzeln hervortreiben. Der unterirdische und der oberirdische Pflanzentheil weichen also durch ihren ersten Ursprung und von ihrem Ursprunge an sowohl funktionell als morphologisch von einander ab.

Blatt und Stengel sind nicht schon in ihrem Entstehen von einander verschieden; vielmehr geht sowohl im Embryo, als bei jeder späteren Knospenbildung der Entstehung des Blattes die Entstehung einer Axe voran, aus welcher sich das erstere hervorbildet. Aus der Axe kommt also das Material zur Gestaltung des Blattes; die Axe bleibt nach wie vor die verbindende Unterlage aller Blätter; das Blatt setzt zu seiner Existenz immer eine Axe voraus. Darum weicht aber doch das Blatt in seiner ganzen Bildung von der Axe ab: es ist flächenartig ausgebreitet, aus zwei symmetrischen Hälften gebildet, im Wachsthume beschränkt, die Axe dagegen cylindrisch und von unbegränztem Wachsthume. Die Axe wird morphologisch nichts Anderes, sie behält wesentlich dieselbe Gestalt, nachdem das Blatt

Digitized by Google

aus ihr hervorgegangen ist. Aber indem sie dem Blatte den Ursprung gibt, erzeugt sie aus sich ein Organ von neuer abweichender Gestalt, mit welchem sie offenbar ihre Funktion theilt. Durch die Entstehung des Blattes kommt also nur morphologisch, aber nicht funktionell etwas Neues zu Stande. Hieraus begreift es sich leicht, daß wohl eine Axe ohne Blätter, aber nicht Blätter ohne eine Axe bestehen können. Wenn die Blätter, wie bei den kaktusartigen Gewächsen, nur Stacheln, Borsten oder Höcker darstellen, oder wenn sie, wie bei der Wasserlinse, ganz fehlen, so bleiben alle Funktionen der oberirdischen Pflanze in der Axe vereinigt. Bei einer Axe, welche auf solche Weise die Blätter ersetzt, ist gewöhnlich das Rindenparenchym sehr stark entwickelt und reich an chlorophyllhaltigen Zellen. Bisweilen erleiden aber blattlose Axen und besonders blattlose Zweige eine Umwandlung, welche sie von ihrer gewöhnlichen Form und Funktion entfernt; sie werden nämlich, wie beim Weißdorn, zu Dornen oder, wie bei der Weinrebe, zu beweglichen Ranken.

Wurzel, Stengel und Blätter sind im Embryo schon enthalten; sie stellen also in Bezug auf Gestaltung die fundamentalen Theile der Pflanze dar. Aber von Fortpflanzungsorganen ist im Pflanzenkeime nichts zu erkennen; und wenn wir annehmen, daß alle wesentlichen morphologischen Gegensätze schon im Embryo vorgebildet sind, so kann der Gegensatz zwischen Vegetations- und Fortpflanzungsorganen nicht auf wesentlichen Unterschieden in der Gestalt der Organe beruhen. In der That findet sich, wie wir zur Genüge gezeigt haben, in der Blüthe nichts, als Blatt- und Axenorgane; zu jenen gehören Kelch, Blumenkrone, Staubgefäße und Fruchtblätter, zu diesen die Samenknospen, welche der Stempel einschließt. Aber während hier die Gestalt im Wesentlichen dieselbe bleibt, verändert sich die Funktion der Organe. Schon in den Blüthenhüllblättern verliert sich die grüne Färbung, und sie hören daher auf, gleich den Stengelblättern Kohlensäure aufzunehmen und Sauerstoff auszuscheiden; aber bei den Staubblättern fehlt unter

Digitized by Google

allen Umständen diese eigenthümliche Blattfunktion, und die ganze Thätigkeit richtet sich hier nach innen, auf die Bereitung der Pollenzellen. Aehnlich verhält sich die Samenknospe; wiewohl sie ihre Grundform mit anderen Knospen gemein hat, so wächst sie doch nicht zu einem Zweige aus, sondern entwickelt in ihrem Innern die große, als Embryosack dienende Zelle. Die Fortpflanzung fällt nun allerdings mit der Vegetation unter den allgemeinen Begriff des pflanzlichen Stoffwechsels; aber in anderer Beziehung stehen sich jene Processe entschieden gegenüber, und insofern muß man zugeben, daß in der Blüthe funktionell, aber nicht morphologisch etwas Neues zu Stande kommt.

Das Verhältniß der Blüthe zu den Vegetationsorganen ist also gerade das umgekehrte von dem Verhältnisse des Blattes zum Stengel; aber beide Verhältnisse zeigen doch manche Analogieen. Wie nämlich das Blatt den Stengel in Bezug auf Stoff und Funktion voraussetzt, so dienen die Vegetationsorgane als morphologische Voraussetzung der Blüthenorgane; die Gestalt der ersteren liegt allen Formen der letzteren zu Grunde, und bei vielen Gewächsen, wie bei Canna, lassen sich von den ersteren zu den letzteren allmählige Formübergänge unterscheiden. Wie ferner bei manchen Pflanzen die eigenthümliche Ausbildung des Blattes fehlt, und ebendamit die Blattfunktion auch vom Stengel übernommen wird, so tritt in manchen Fällen die Funktion der geschlechtlichen Fortpflanzung nicht hervor, und es bleibt dann bei der eigentlichen Thätigkeit des Stengels und der Blätter und bei der geschlechtlosen Vermehrung durch Knospen.

Schon im normalen Zustande beobachtet man einen gewissen Antagonismus zwischen den Funktionen der Vegetation und der Fortpflanzung; Einflüsse, welche die Laubbildung sehr befördern, hindern die Blüthen- und Fruchtbildung. Aber noch viel mehr offenbart sich diese Beziehung bei den Mißbildungen der Blüthen, d. h. in denjenigen Fällen, wo die Anlage einer Blüthe auf verschiedenen Stufen ihrer Entwicklung von dem richtigen Bildungsgange abweicht. Fast in allen diesen

Digitized by Google

Mißbildungen kehren Blüthenorgane wieder zu der Funktion gewöhnlicher Vegetationsorgane zurück. So bildet sich die Samenknospe, statt zur Befruchtung der Pflanze zu dienen, nicht selten nach Art der gewöhnlichen Knospen zu einem Zweige um, der mit Blättern oder wieder mit Blüthenorganen besetzt ist. Noch häufiger erleiden die Blüthendecken eine Verlaubung, indem sie Stengelblättern ähnlich werden. Die Staubgefässe hingegen verschwinden allmählig bei allen gefüllten Blüthen, indem die Stufe der Blumenkronenblätter festgehalten wird und auch auf die Stufe der Staubblätter übergreift. Auch die Theile des Stempels erscheinen in vielen Mißbildungen als Blätter, und zwar als grüne Blätter. Endlich hört bisweilen die Blüthe überhaupt auf, eine Axe oder Nebenaxe abzuschließen, und der Zweig wächst durch die Blüthe hindurch, um weiter oben wieder Blätter oder Blüthentheile zu tragen. Alle diese Mißbildungen beweisen, daß die Fortpflanzungsorgane nichts Anderes sind, als weitere Ausbildungen von Stengel und Blatt zu den Zwecken einer besonderen Funktion. Wird diese Funktion auf irgend eine Weise, besonders durch Kultur beeinträchtigt, so nähern sich die Blüthenorgane wieder mehr oder weniger den Vegetationsorganen; aber äußere Einflüsse bringen hiebei so viele Variationen hervor, daß wir uns begnügen mußten, nur die Grundzüge der Veränderungen anzugeben.

Aus diesen Erörterungen wird gewiß klar werden, wie die Stellung irgend eines Pflanzenorganes weder aus seiner Gestalt, noch aus seiner Thätigkeit allein, sondern nur aus beiden Seiten seiner Existenz zugleich begriffen werden kann. So ist z. B. die Wurzel allerdings sowohl nach Gestalt als nach Funktion wesentlich von der oberirdischen Pflanze verschieden. Aber die Funktion des Blattes ist aus der Funktion des Stengels, die Gestalt der Fortpflanzungsorgane aus der Gestalt von Stengel und Blatt abzuleiten, und im erstern Falle ist nur die Gestalt, im zweiten nur die Funktion der wesentliche Grund der Verschiedenheit. Nur wenn auf diese Weise der Funktion und

Digitized by Google

der Gestalt ihr Recht gelassen wird, ist es möglich, die Lebensvorgänge in der Pflanze richtig zu verstehen. Freilich entspricht jeder Veränderung in der Thätigkeit eine Veränderung in dem Bau oder in der äußeren Form; aber man muß zugestehen, daß die wesentlichen Unterschiede der Organe nur in einzelnen Fällen gleichmäßig aus der Thätigkeit und Gestalt, sondern meistens überwiegend aus jener oder aus dieser abgeleitet werden können. Dieses beweist aufs Neue, was wir schon in der vorigen Uebersicht (II. 74) auseinandersetzten, daß in den Organismen ein eigenes, gestaltendes Princip wirkt. Es ist vergebens, die Gestalt eines Organs aus seiner chemischen Mischung oder die Thätigkeit eines Organs aus seiner Gestalt abzuleiten; denn diejenigen, welche so schließen, bewegen sich in einem Kreise und kommen in Wirklichkeit nicht über die einfache Behauptung hinaus, daß die Gestalt der Organismen sowohl mit der chemischen Beschaffenheit als mit der Bewegung ihrer einzelnen Organe und ihres ganzen Körpers in Einklang stehe. Wir ziehen es vor, die Harmonie von Gestalt und Thätigkeit auf den Ursprung alles organischen Lebens, auf den schaffenden Gott zurückzuführen.

Gestalt und Thätigkeit wirken also in jedem Organe harmonisch zusammen, wiewohl die Gesetze, durch welche beide bestimmt werden, nicht dieselben sind. Was wir im Einzelnen über die Funktionen, über den innern Bau und über die äußere Form der Pflanzen beigebracht haben, kann als ein weiterer Beweis für diesen Satz dienen. Aber es ist hier nicht blos die Aufgabe, die Harmonie der beiden Hauptseiten des organischen Lebens nachzuweisen; wenn in den Organen Funktion und Form zusammenstimmen, so ist weiter zu zeigen, daß auch die einzelnen Organe harmonisch zum ganzen Lebensprocesse zusammenwirken, daß jedes Glied morphologisch und funktionell zum ganzen Leibe der Pflanze paßt.

Der innere Zusammenhang zwischen den Formen aller Organe wird durch die allgemeinen Gesetze begründet, welche

Digitized by Google

sich aus der Gestalt der Pflanze ableiten lassen. Diese Gesetze sind im Wesentlichen mathematische; aber es wäre vergeblich, ihre Darstellung auf streng mathematische Weise zu versuchen. In der unorganischen Natur werden die mathematischen Gesetze der Physik und Chemie durch fremdartige Einflüsse mannigfach getrübt; aber es scheint in dem Wesen der organischen Körper selbst zu liegen, daß sie eine abstrakt mathematische Behandlung durchaus nicht zulassen. Das gestaltende Princip wirkt hier nach seiner eigenen Weise; die Grundformen und Grundzahlen, welche in der organischen Gestalt nachgewiesen werden, kommen zwar auch in der Mathematik vor; aber die Art, wie sie auftreten, ist den Organismen eigenthümlich; sie widersprechen daher keineswegs den allgemeinen mathematischen Regeln, und ihre Nachweisung muß im Einzelnen nach diesen Regeln geschehen. Wir haben schon bei der Stellung der Blätter auf dieses Verhältniß zwischen mathematischen und organischen Gesetzen aufmerksam gemacht.

Unter den Körperformen der Geometrie findet man in der äußeren Form der Pflanze vorzüglich den Cylinder wieder. Die Hauptaxe und die Zweige der oberirdischen und der unterirdischen Pflanze zeigen in der Regel einen cylindrischen Bau. Ebenso tritt der Cylinder in manchen Blüthenbildungen auf; Kelche und Blumenkronen nehmen bisweilen, wenn ihre Blätter verwachsen, eine Röhrenform an. Aber der Cylinder ist doch in keinem von diesen Fällen ganz rein. Wurzel, Stengel und Zweige behalten auf größere Strecken nicht die gleiche Dicke; sondern die unterirdische Pflanze spitzt sich allmählig nach unten, die oberirdische nach oben zu. So geht der Cylinder in den Kegel über. Dieser Uebergang ist aber noch viel häufiger bei den verwachsenblättrigen Blüthen, wo der untere röhrenförmige Theil sich meistens trichterförmig zum ausgebreiteten Saume erweitert. Kegel und Cylinder haben kein bestimmtes Rechts und Links oder Vorn und Hinten; aber der erstere läßt ein Oben und Unten erkennen. Bei den Organen, welche sich an den ober-

Digitized by Google

irdischen Axen befestigen, ist dieses anders; die Blätter sind wegen ihres geringen Dickedurchmesserrs, wegen ihrer flächenartigen Ausbreitung bedeutend. Sie theilen Spitze und Basis, Oben und Unten mit dem Kegel; aber in der Richtung des kleinsten Durchmessers erhalten sie den neuen Gegensatz einer vordern und hintern Fläche, und so bleibt nur noch Rechts und Links als entsprechende Seiten übrig. Auf solche Weise werden die Blätter nur in Einer Richtung gleichmäßig theilbar, d. h. symmetrisch. Wir haben gezeigt, wie diese Symmetrie auch in vielen unregelmäßigen Blüthen auftritt. Cylinder, Kegel und Fläche, Gegenwart und Abwesenheit der Symmetrie sind Grundformen, welche die äußere Gestalt nicht blos im Pflanzenreich, sondern auch im Thierreiche vielfach bestimmen.

Die inneren Formelemente, welche die Pflanze zusammensetzen, gehen alle deutlich von der Kugel aus. Der Zug der Säfte, die Art der Ernährung und das mechanische Verhältniß zu den anliegenden Zellen ändern diese Grundform verschiedenartig ab. Die Kugel wird dadurch zum Cylinder oder zur Tafel, und alle Zellenformen verlieren meist überdieß die gleichmäßige Wölbung ihrer Oberfläche. Das Gesetz der Symmetrie scheint hier keine Geltung zu finden. Auch diese Grundformen der Zellen hat der pflanzliche Organismus mit dem thierischen gemein.

Die pflanzliche Zellenwandung bleibt nicht dieselbe, die sie am Anfang gewesen war; sondern sie wird durch innere Auflagerungen verdickt. Wir haben gezeigt, wie diese Verdickungsschichten sehr häufig die Form der Spirale einhalten. Es ist merkwürdig, daß auch die Ansätze jener Blattorgane, welche der Stengel an seiner Oberfläche entwickelt, dieselbe krumme Linie befolgen. Die Spirale vermittelt hier die gerade und die Kreislinie. Jene zeigt sich z. B. in der Anordnung der Blattzeilen an der Stengeloberfläche, diese in der Stellung der opponirten und der quirlförmigen Blätter oder in den kreisförmigen Verdickungsschichten, welche die Ringgefässe auszeichnen.

Digitized by Google

Die Kreislinie und die gerade Linie lassen sich in den Gestalten der organischen Körper leicht nachweisen. Aber auch für die Spirale fehlt es in den Formen der Pflanzen und Thiere keineswegs an Beispielen; insbesondere erscheint sie nicht bloß bei festen Formen, sondern tritt auch in den Wachsthumsbewegungen der Schlingpflanzen und ebenso der einschaligen, schneckenartigen Muscheln deutlich hervor. Dieß sind nur Beispiele von den zahlreichen Fällen, wo bestimmte Körper, Flächen und Linien in der Gestalt der pflanzlichen Organe sich erkennen lassen. Auf solchen geometrischen Verhältnissen beruht die Kennzeichenlehre der Pflanzen zum großen Theile. Aber man pflegt die Formen der Organe weniger auf geometrische Weise, als durch Vergleichung mit Gegenständen des täglichen Lebens zu bezeichnen, und daher bietet auch die botanische Kunstsprache noch keineswegs diejenige Schärfe dar, welche ihr eine mehr mathematische Behandlung zu geben vermöchte.

Wie den Gestalten der pflanzlichen Körper einfache Grundformen unterlegt werden müssen, so ziehen sich auch durch die ganze Anordnung der pflanzlichen Theile einfache Zahlengesetze hin. Es bedarf keines weiteren Beweises für diese Behauptung; denn die Thatsachen, welche wir von der Blattstellung angeführt haben, umfassen schon die wichtigsten Beispiele von der Geltung arithmetischer Gesetze im Pflanzenreiche. Wir werden auch im thierischen Körper auf ähnliche Weise feste Zahlengesetze für die Gruppirung der innern und äußern Organe nachweisen können.

Diese mathematischen Gesetze bilden eigentlich die Grundlage für die ganze Formenlehre der organischen Körper. Sie sind das Band, welches sich durch die Gestalten sowohl der Gewebtheile als der Organe der Pflanzen hinzieht. Aber sie dienen zugleich als verbindendes Glied zwischen der organischen und unorganischen Natur. Es sind dieselben Figuren und Zahlen, welche wir in den Pflanzen und Thieren, wie in den Gestirnen und in den Krystallen wieder erkennen; nur daß

Digitized by Google

das gestaltende Prinzip, welches in den Organismen wirkt, sie auf eine eigenthümliche und freiere Weise in die Erscheinung treten läßt. Aber diese mathematischen Gesetze sind doch nicht das einzige Feste in den Formen der Organismen. Wie der Organismus aus den allgemeinen chemischen Grundstoffen zusammengesetzte Substanzen bildet, die nur ihm eigen sind, so treten auch in den Organismen Grundformen einer höheren Ordnung, eigentlich organische Grundformen auf. Wir haben diese bei der Pflanze schon oft genannt; sie sind Wurzel, Stengel und Blatt; mit ihnen hat es die organische Morphologie zu thun.

Wenn von verschiedenen Theilen einer Pflanze nachgewiesen werden soll, ob sie Wurzel, Stengel oder Blatt seien, so kann dieses nicht anders geschehen, als indem für jede dieser drei Grundformen der pflanzlichen Gestalt ein allgemeiner Begriff gebildet wird, welcher ganz unabhängig ist von der Funktion, die mit jeder Form sich verbinden mag. Bei der Wurzel läßt sich diese Abstraktion am ehesten entbehren, weil bei ihr Form und Funktion immer zusammenfallen; aber das Auftreten von Stengel und Blatt in der Blüthe läßt sich nur dann begreifen, wenn man von der Funktion absieht und die morphologische Idee des Stengels oder Blattes der Vergleichung zu Grunde legt. Der Organismus theilt also nicht blos allgemeine mathematische Begriffe mit der ganzen Natur; sondern auch das organische Lebensprincip verfährt in der Gestaltung der organischen Körper nach seinen eigenen, von der Einzelerscheinung unabhängigen Gesetzen. Dieß läßt sich schon am Stengel nachweisen; aber es ist noch viel deutlicher beim Blatte, welches mit jedem neuen Auftreten seinen Allgemeinbegriff wieder in einer neuen Variation verwirklicht. Am überzeugendsten werden endlich diese eigenthümlichen Gesetze der Gestaltung am Schlusse des pflanzlichen Lebens, wo trotz dem Wechsel der Funktion, trotz dem Auftreten der Fortpflanzungsthätigkeit die Träger der

Digitized by Google

neuen Funktion doch morphologisch dieselben bleiben, wie vorher, als sie noch der pflanzlichen Vegetation gedient hatten.

So verbinden allgemeine Gesetze der Gestaltung die einzelnen Theile jeder Pflanze und die einzelnen Theile der Organismen überhaupt. Diese Gesetze haben verschiedene Grade der Geltung; die einen beziehen sich auf alles Geschaffene, die anderen nur auf die Organismen, wieder andere nur auf Pflanzen oder Thiere, oder nur auf Hauptgruppen, oder gar nur auf einzelne Species der Organismen. Es genügt daher nicht, ein allgemeines Schema für alle Pflanzen oder für alle Thiere oder gar für alle Organismen aufzustellen. Vielmehr verlangt jede organische Species, daß in ihre morphologische Eigenthümlichkeit eingegangen, und daß auf diese Weise die allgemeineren und specielleren Gesetze ihrer Gestalt erkannt werden. Jede Species hat wieder ihre eigene Harmonie der Bildung, und nur annäherungsweise kann behauptet werden, daß größere, natürliche Gruppen, wie die Monokotyledonen und Dikotyledonen, die Kryptogamen und Phanerogamen, in ihren Bildungsgesetzen übereinstimmen.

Den Harmonieen der Gestalt entsprechen in der Pflanze die Harmonieen der Thätigkeiten, des Stoffwechsels und der Bewegung.

Die chemischen Processe, durch welche die ternären und quaternären Bestandtheile der Pflanze gebildet werden, dienen zweierlei Zwecken, nämlich einmal der Erhaltung des Individuums und dann der Erhaltung der Species durch Neubildung von Individuen; sie haben also den Stoff sowohl für die Vegetations- als für die Fortpflanzungsorgane der Pflanze zu bereiten. Von dem ersten Anfange der pflanzlichen Existenz an werden die Wurzel, der Stengel und die Blätter durch den Stoffwechsel ernährt und in ihrem Wachsthume gefördert. Die Ausbildung jener Substanzen, welche zur Fortpflanzung nothwendig und vorzüglich in den Pollenkörnern und dem Embryosacke enthalten sind, erfolgt dagegen erst, nachdem die Ernährung

Digitized by Google

und Neubildung der Vegetationsorgane längere Zeit gedauert hat. Es sind also hier zweierlei Richtungen der chemischen Thätigkeit zu unterscheiden, von welchen die eine der andern vorhergeht und überdieß als Bedingung und Voraussetzung dieser andern sich darstellt. Der chemische Proceß der Vegetation muß einen bestimmten Weg einhalten, um die tauglichen Stoffe für die Entstehung und Thätigkeit der Fortpflanzungsorgane zu erzeugen. Während also auf dem Wege vom Stengel zur Blüthe die Gestalt der wirksamen Organe, der Axe und der Blätter, nicht wesentlich verändert wird, nimmt die stoffbereitende Thätigkeit eine neue Richtung an. Wir unterschieden die verschiedenen Formen von Axe und Blatt nur als wechselnde Weisen der Verwirklichung derselben Grundformen; aber die verschiedenen Funktionen, welche Axe und Blatt in verschiedenen Zeiten übernehmen, sind von zweierlei Gesetzen bestimmt und verfolgen zweierlei Zwecke. Auch in dieser Aufeinanderfolge der chemischen Processe tritt also ein höheres, über die nächste Wirklichkeit hinausgreifendes Gesetz hervor; die Thätigkeit der Vegetationsorgane bewegt sich nicht blos in dem Kreise ihrer eigenen Gesetze und Zwecke; sondern sie bereitet zugleich die künftige Thätigkeit der Fortpflanzungsorgane mit Sicherheit vor. In beiden Fällen aber wird Stoff hervorgebracht, welchen das gestaltende Princip zuerst zu Wurzel, Stengel und Blatt und dann zur Blüthe und Frucht verwendet.

Es bleibt jetzt noch Eine Seite des organischen Lebens, die mechanische Bewegung übrig. Ihr Gebiet ist in der Pflanze noch sehr klein und erreicht erst im Thiere seine äußersten Gränzen; aber es ist doch schon in der Pflanze möglich, die Hauptgesetze der organischen Bewegung abzuleiten. Daß die Bewegungsfähigkeit eine Eigenschaft der Organismen überhaupt ist, kann nicht bezweifelt werden; ebenso ist es in hohem Grade wahrscheinlich, daß alle Bewegung durch Verkürzung organischer Theile und ebendamit durch gegenseitige Näherung entfernter Punkte geschieht. Aber der Vorgang, der eigentliche

Digitized by Google

Mechanismus dieser Verkürzung ist uns völlig verborgen, und wir können bis jetzt nur Zweierlei angeben, nämlich die Antriebe, durch welche die Bewegung erregt wird, und die Effekte, welche die Bewegung hervorbringt. Zu den Bewegungsreizen gehören vorzüglich äußere physikalische Agentien, wie Licht, Stoß, Elektricität. Dann liegt aber gewiß der Reiz bisweilen in der Pflanze selbst. Wenn z. B. die reifen Geschlechtsorgane sich nähern, wenn die Wimper mancher Algensporen bis zur Befestigung der Sporen fortschwingen, so scheinen die Bedingungen hiezu ganz in der Pflanze selbst zu liegen; es scheint, als ob mit der Ausbildung mancher Organe auch unmittelbar die Bewegung begänne, als ob die gestaltliche Vollendung auch die Bewegungsthätigkeit unmittelbar hervorriefe. Wir werden ähnliche Verhältnisse auch im thierischen Körper antreffen; Gestalt und Bewegung verhalten sich auch dort in vieler Hinsicht zu einander, wie Ursache und Wirkung.

Der Effekt der pflanzlichen Bewegungen ist häufig kein anderer, als daß die Bewegung, welche dem innern oder dem äußern Antriebe entspricht, zu Stande kommt. Aber in einzelnen Fällen dient die pflanzliche Bewegung den verschiedenen Seiten des Stoffwechsels. So vermittelt die Säftebewegung im Innern von lebenskräftigen Zellen ohne allen Zweifel die energische Aufnahme, Verarbeitung und Ausscheidung von Flüssigkeiten; so hat die Bewegung der Blätter gegen das Licht ihr gedeihliches Wachsthum, die Annäherung von Staubgefäß und Stempel die Befruchtung der Gewächse zur nächsten Folge. So vermitteln die organischen Bewegungen die Gestalt und den Stoffwechsel der Organismen; sie schließen sich an jene aufs innigste an und werden von ihr bisweilen angeregt; dem letzteren aber sind sie in manchen Fällen dienstbar. Die Bewegungen haben zunächst ihren Zweck in sich selbst; aber manche verfolgen noch Zwecke, die außer ihnen, in der stoffbildenden Thätigkeit der organischen Körper ruhen.

Gestalt, Stoffwechsel und Bewegungen werden demnach

Digitized by Google

durch innere Gesetze bestimmt; keine dieser Seiten der organischen Existenz ist dem Zufall, d. h. der ungeregelten Einwirkung äußerer Potenzen überlassen. Aber jede Seite folgt wieder ihren eigenen Gesetzen, und dieses macht eben die innere Harmonie einer jeden aus. Der Proceß der Gestaltung verfolgt wenige Grundformen durch die mannigfachen Stufen der Entwicklung hindurch; sein einziges Ziel ist, die eigenthümliche Form jeder Species mit der möglichst großen Freiheit und Schärfe darzustellen. Auch der organische Stoffwechsel hat vor Allem nur die Aufgabe, aus der aufgenommenen Nahrung die organischen Bestandtheile zu bilden; aber er zerfällt in zwei Seiten, von welchen die eine, nämlich die Vegetation, zugleich auf die Vorbereitung der anderen, die Fortpflanzung umfassenden Seite abzweckt; und überdieß liefert der Stoffwechsel das Material, aus welchem die organische Gestalt sich aufbaut. Die Bewegung endlich hat wieder ihren Zweck vorzüglich in sich selbst; aber mittelbar dient sie schon in der Pflanze den verschiedenen Stadien des Stoffwechsels. So sind die verschiedenen Seiten des organischen Lebens nicht blos in sich harmonisch, sondern eben durch die eigene Harmonie trägt wieder jede einzelne Seite zum Einklange des Ganzen bei. Sollen wir deßwegen annehmen, die eine Seite sei um der andern willen da? Vielmehr existirt jede Seite, Gestalt und Thätigkeit, Stoffwechsel und Bewegung vor Allem um ihrer selbst willen; so füllt sie den Platz aus, welcher ihr in der Ordnung des organischen Körpers angewiesen ist. Aber in zweiter Linie trägt auch jede Seite des Lebens zum richtigen Bestande aller übrigen bei, und alle sind in dieser Beziehung von den übrigen in gleichem Maaße abhängig.

Wie die einzelnen Seiten des organischen Lebens sich gegenseitig stützen und anregen, so thun es gleicherweise ihre Träger, die Organe. Kein Organ hat seine besonderen Gesetze der Gestalt und Thätigkeit; sondern jedes ist den allgemeinen Gesetzen unterthan, welche Gestalt und Thätigkeit be-

Digitized by Google

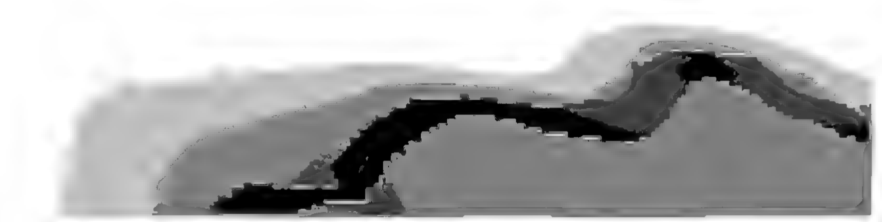
stimmen. So hängen alle Organe durch die allgemeinen, das Ganze beherrschenden Gesetz unter sich und mit dem Ganzen innig zusammen. Aber der Organismus wird nicht recht verstanden, wenn man in seine Gliederung die Grundsätze menschlicher Zweckmäßigkeit hineinträgt, nach welchen immer nur ein Glied um des andern willen vorhanden ist. Die einzelnen Glieder, in welche die Gestalt des Organismus innerlich und äußerlich auseinandergeht, verfolgen allerdings bestimmte Zwecke. Aber der nächste Zweck ist das Leben des Organs selbst, und hier mußte eben gezeigt werden, wie Gestalt und Thätigkeit des Organs sich entsprechen und fördern. Die Beziehungen der Organe unter einander bedingen eine Zweckmäßigkeit zweiter Ordnung. Was wir im Einzelnen zur Schilderung der Pflanze beigebracht haben, legt Zeugniß ab für diese wahre Zweckmäßigkeit der organischen Gliederung. Jedes Glied existirt zugleich für sich und für die übrigen; aber alle Glieder existiren nicht durch sich selbst oder durch ein einzelnes Glied, sondern durch das Princip der Individualität, welches der Schöpfer den Gestirnen, wie den Organismen ursprünglich beigelegt hat, und welches er jedem neuentstehenden Organismus aufs Neue einprägt.

So steht die Pflanze, so steht jeder Organismus als ein reich gegliedertes Ganzes in der Mitte der umgebenden Schöpfung. Wie seine einzelnen Glieder vor Allem ihre eigene Gestalt und Thätigkeit zum Zwecke haben, so ist auch der ganze Organismus vor Allem seiner eigenen Existenz zugewendet; seine Lebensäußerungen beziehen sich zunächst darauf, seine eigene Gestalt, seine eigenen Stoffe und Bewegungen auf passende Weise auszubilden. Dieß stille, in sich gekehrte Leben ist der Pflanze vorzüglich eigen, und ihre Thätigkeit beschränkt sich daher fast nur auf Vegetation und Fortpflanzung. Die Pflanze greift in die umgebende Natur hauptsächlich nur durch die Stoffe ein, welche sie aufnimmt, bereitet und bei ihrem Absterben zurückläßt. Wir haben in dieser Beziehung gezeigt, wie die Pflanze eigentlich zur stofflichen Unterlage des Thierreiches wird. Wie

Digitized by Google

die giftigen Eigenschaften mancher Pflanzenstoffe aufgefaßt werden müssen, suchen wir besser erst später zu erörtern; denn erst im Thierreiche tritt dieser schädliche Einfluß der Individuen gewaltsamer, selbstthätiger hervor. Ueberhaupt aber wird uns das Thier erst volle Gelegenheit geben, die verschiedenen Verhältnisse zu untersuchen, welche der einzelne Organismus, welche organische Familien oder Reiche mit den übrigen Geschöpfen eingehen. Die Pflanze erhält von außen fast nur die Nahrungsstoffe, die sie zu organischen Substanzen verarbeitet; blos in den Proceß der Fortpflanzung greifen noch andere, äußere Processe kräftiger ein, und wir haben insbesondere gesehen, wie der Blüthenstaub nicht blos durch seine eigene Schwere, sondern oft durch Winde und Insekten auf die Narbe getragen wird. Hier ersetzen Thiere jene Bewegungen, welche zu pflanzlichen Vorgängen nöthig sind, aber der Pflanze selbst fehlen. Wir werden indeß erst im Thierreiche die Zweckmäßigkeit der Bewegungen überhaupt vollständig kennen lernen; dort werden sich auch deutlicher jene Gesetze ableiten lassen, welche die Gruppirung der Organismen, die innere Gliederung der organischen Reiche bestimmen, und welche mit der Aufeinanderfolge der geologischen Perioden und mit der jetzigen Eintheilung der Erdoberfläche in der nächsten Beziehung stehen.

Wir schließen hier die Betrachtung der Pflanze ab. Es ist nicht nothwendig, hier noch ausführlich hervorzuheben, auf welche mannigfache Weise sich der Schöpfer in dem reichen Leben der Pflanze offenbart. Was von den Thätigkeiten, was von den Gestalten und Gruppen des Pflanzenreiches gesagt wurde, ist nichts als eine weitere Ausführung der Schlüsse, welche wir schon aus der Natur der Organismen überhaupt gezogen haben, nichts, als ein ununterbrochener Beweis von jener Macht und Weisheit, welche die Organe der Pflanze zum harmonischen Ganzen verbindet, von jener Güte, welche jedem einzelnen Individuum die Freiheit der eigenthümlichen Gestaltung gewährt, endlich von jener umfassenden Vorse-



hung, welche nicht blos in der einzelnen Pflanze, sondern im ganzen Gebiete des Organischen alles Einzelne so ordnet, daß die allgemeine Gesetzmäßigkeit durch die freie Gestaltung und Thätigkeit des Einzelnen nicht gestört, daß vielmehr das Einzelne in der höheren Harmonie des Ganzen eingeschlossen und verklärt wird.

Digitized by Google

Sechster Abschnitt.

Das Thier.

Frage doch das Vieh, das wird dichs lehren, und die Vögel unter dem Himmel, die werden dirs sagen. Oder rede mit der Erde, die wir dichs lehren, und die Fische im Meere werden dirs erzählen. Wer weiß solches alles nicht, daß des Herrn Hand das gemacht hat?

Hiob.

Wenn der Mensch sich bisweilen mit der Pflanze verglich, so geschah dieß immer bildlich; Jeder begriff dabei wohl, daß es von der Pflanze zum Menschen noch ein bedeutender Schritt sei. Aber mit dem Thiere ist der Mensch nicht blos verglichen worden; sondern es ist vielen barbarischen und kultivirten Menschen die Ansicht gemeinsam gewesen, wir seien mit allen unsern menschlichen Vorzügen doch nichts Anderes, als eine etwas höhere Stufe der thierischen Bildung. In dieser Beziehung begründet es nun keinen wesentlichen Unterschied, ob der Ungebildete, indem er die Gränze zwischen Mensch und Thier verliert, Seehunde und Orange für Menschen, Negerstämme für Thiere erklärt, oder ob derjenige, welcher sich für gebildet und in der Wissenschaft bewandert hält, alle jene deutlichen Merkmale außer Augen läßt, welche den Menschen nicht blos vom Thiere unterscheiden, sondern sein ganzes Wesen auf eine andere und höhere Stufe, als das thierische und organische Wesen, erheben. Wir hoffen, diese wesentliche Verschiedenheit sicher.

nachweisen und begründen zu können. Indeß muß schon hier darauf hingewiesen werden, daß erst der folgende Abschnitt der Untersuchung des Menschen gewidmet sein soll, daß ebendamit in dem gegenwärtigen Abschnitte nur das Thierische abgehandelt und das Menschliche noch ferngehalten werden muß.

Bei aller dieser Auseinanderhaltung des Menschlichen und Thierischen fehlt es übrigens nicht an den mannigfachsten Beziehungen zwischen beiden Gebieten. Wir sind keine Thiere, aber wir theilen mit den Thieren die Grundlagen unserer körperlichen Organisation. Wir bedürfen viele Thiere oder thierische Stoffe als Nahrungsmittel, als Unterstützung in unsern täglichen Arbeiten und Beschäftigungen, und umgekehrt drängen sich zahlreiche Thiere nachtheilig in den Kreis unserer Bedürfnisse und Thätigkeiten ein. So verhält sich das Thierreich zum Menschen nicht blos leidend, wie das Pflanzenreich, welches mittelbar oder unmittelbar die Quelle unserer Ernährung bildet, und nur durch einzelne Giftstoffe sich feindselig zu uns verhält. Mit den Thieren liegen wir fast überall im Kampfe, und es ist uns nur bei wenigen Geschlechtern gelungen, sie völlig oder nahezu der menschlichen Herrschaft zu unterwerfen.

Ist es unter solchen Umständen verwunderlich, daß den Thieren weit öfter und in höherem Maaße, als den Pflanzen, geheime, göttliche Kräfte zugeschrieben wurden? Wo ein Thier durch seine Gestalt oder seine Lebensweise sich vor andern ausgezeichnete, wo es dem Menschen besonders gefährlich oder nützlich war, da wurde es mit den Göttern in nähere Beziehung gesetzt. So geschah es mit der Schlange, mit dem Adler, Raben oder Kukuk, mit dem Löwen, Bären oder Wolf, vorzüglich aber mit dem Pferde, dem Stiere und der Kuh. Nirgends mischte sich den Götterbildern mehr Thierisches bei, als in dem Kultus der Aegypter; dort trat Osiris mit dem Stier, Isis mit der Kuh in besonders nahe Berührung; Thierköpfe waren eine gewöhnliche Auszeichnung der Gottheiten. Aber auch in Griechenland wurden einzelnen Göttern heilige Thiere zugetheilt, und

Digitized by Google

überdieß verhüllten sich nicht selten die griechischen Götter in Thiergestalten. Diese Verkleidung des Göttlichen in die Formen gefürchteter oder geschätzter Thiere konnte natürlich gerade in jenen Religionen nicht fehlen, welche von der menschlichen Gestalt die Züge ihrer Götter entlehnten; je mehr noch Menschliches und Thierisches im Bewußtsein vermengt wurde, desto leichter schlich sich auch das Thierische in die Gestalten der Götter ein. In dieser Beziehung erscheint der Thierkultus, wo er nicht reiner Fetischismus war, blos als eine Vorstufe jener Religionsform, welche ihre Götter mit rein menschlichen Eigenschaften ausstattete und in menschlichen Gestalten dachte und darstellte.

Die Vermengung des Menschlichen und Thierischen schleicht sich auch jetzt noch vielfach in die Gedanken der Menschen ein. Phantastisch und liebenswürdig äußert sie sich in Fabeln und Mährchen. Verderblich ist sie bei denjenigen, welche im Menschen nichts anerkennen, als die natürlichen, das Thierreich beherrschenden Kräfte, Regungen und Gesetze. Aber wir können auch jenes Mißverständniß nicht für ungefährlich halten, welches den Gegensatz des Guten und Bösen in das Thierreich hereinträgt. Es entspricht weder dem Christenthum, noch einer höheren Naturauffassung, wenn man schädliche und besonders giftige Thiere als Erzeugnisse eines bösen Principes, als Folgen der Sünde ansieht. Der Mensch muß sich daran gewöhnen, nicht seinen beschränkten Verstand und sein leibliches Wohlbefinden als den allein gültigen Maaßstab an die Ordnung der geschaffenen Dinge anzulegen; was ihm zwecklos scheint, was seinem Körper Schaden bringt, verstößt darum noch keineswegs gegen die höheren, sittlichen Gesetze, welche das geistige Leben des Menschen bestimmen. Diese Worte sind nichts als eine Hinweisung auf spätere Erörterungen, welche am Schlusse dieses Abschnittes und bei der Untersuchung des menschlichen Wesens ausführlicher gegeben werden sollen.

Das Thier gränzt zwar durch seine Organisation sehr

Digitized by Google

nahe an die körperliche Seite des Menschen; aber es theilt darum doch mit der Pflanze die allgemeinen Eigenschaften der Organismen. Es kommt beim Thiere nichts wesentlich Neues hinzu; aber was in dem Leben der Pflanze einfach und auseinandergelegt ist, das sammelt sich beim Thier zu verwickelteren und concentrirteren Processen.

---

1) Die allgemeinen Verhältnisse des thierischen Lebens. Wenn das Thier sich von der Pflanze durch Vertheilung der Arbeit, d. h. durch Vertheilung der einzelnen Funktionen an besondere Zellengruppen unterscheidet (II. 82), so beschränkt sich dieser Unterschied nicht blos auf die organischen Vorrichtungen, durch welche die Funktionen vermittelt werden, sondern er bringt auch in der Art der Funktionen selbst eine Veränderung hervor. Wir haben in dieser Beziehung schon früher (II. 86) gezeigt, daß sowohl die chemische als die physikalische Seite der organischen Thätigkeit sich beim Thiere concentriren, jene im Blutsystem, diese im Nervensystem, sowie daß aus dieser Centralisation sich vorzüglich die willkührliche Bewegung und die bewußte Sinnesthätigkeit des Thieres am besten ableiten lassen. Wir sehen vorerst von diesen Resultaten früherer Untersuchungen ab, und knüpfen noch einmal bei der Pflanzennatur an, um von ihr aus die Natur des Thieres deutlich zu machen.

Die chemische Zusammensetzung des thierischen Körpers weicht nicht wesentlich von der des pflanzlichen Organismus ab. Es sind stickstoffhaltige und stickstofflose, organische und unorganische Substanzen, welche die Säfte und die festen Organe des Thieres zusammensetzen und den thierischen Stoffwechsel anregen und vermitteln. Unter den stickstoffhaltigen Substanzen ist die Mehrzahl einigen Pflanzenstoffen so ähnlich, daß es nicht gelingt, sie mit Sicherheit von diesen zu unterscheiden. Dahin gehört das Fibrin der Muskel und des Blutes, analog dem pflanzlichen Kleber, das Albumin der Nervensubstanz

Digitized by Google

und der Blutflüssigkeit, analog dem Pflanzeneiweiß, und das Kasein der Thiermilch, analog dem pflanzlichen Legumin. Es macht keine Schwierigkeit, sich den Uebergang dieser Stoffe aus der Pflanzennahrung in die Säfte und Organe der Thiere zu denken; es bedarf jedenfalls nur eine kleine Umwandlung, um diese eiweißartigen Stoffe aus pflanzlichen zu thierischen zu machen. Aber außerdem tritt im thierischen Körper noch der Leim als eine quarternäre, aus Stickstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzte Substanz auf. Es ist zweifelhaft, ob er in der Weise, wie man ihn aus einzelnen Theilen des thierischen Körpers durch Auskochen erhält, auch schon vor dieser Einwirkung existirt. Jedenfalls zeichnen sich aber einzelne Theile des thierischen Körpers dadurch aus, daß sie beim Kochen Leim, d. h. in heißem Wasser lösliche, beim Erkalten erstarrende Substanz, geben. Leimgebende Substanzen kommen nur im thierischen Körper vor; dahin gehören das Bindegeweb, welches die einzelnen Organe des Körpers unter einander vereinigt, die Lederhaut, welche überall die äußere Hülle des Körpers bildet, die Sehnen und Bänder, welche Muskel und Knochen verbinden, endlich die organische Substanz, welche den Knochen und Knorpeln zu Grunde liegt. Im Pflanzenreiche fehlt die leimgebende Substanz völlig, und dieses Fehlen begründet einen wichtigen Unterschied zwischen thierischem und pflanzlichem Organismus.

Die eiweißartigen Stoffe und der Leim stehen sich in ihrer Zusammensetzung so nahe, daß ein Uebergang der ersteren in Leim sich ohne große Schwierigkeit begreifen läßt. Die stickstoffhaltigen Nahrungsstoffe, welche das Pflanzenreich liefert, lassen daher auch gewiß eine leichte Umwandlung in leimgebende Substanz zu. Umgekehrt aber ist es sehr zweifelhaft, ob die leimgebenden Gewebe auch zur Ernährung anderer Thiere verwendet werden können. Wie wir eiweißartige Stoffe aus dem Pflanzenreiche aufnehmen, so erhalten wir die verwandten Substanzen auch aus dem Thierreiche; denn in Bezug auf die

wesentlichen stickstoffhaltigen Bestandtheile weichen Pflanzen- und Fleischnahrung nicht entschieden von einander ab. Dagegen scheint es, daß der Leim nicht im Stande ist, das Fibrin, Albumin und Kasein des Thier- oder Pflanzenreiches zu ersetzen. Die Umwandlung eiweißartiger Stoffe in Leim entfremdet jene offenbar zu sehr von ihrer ursprünglichen Mischung, als daß sie noch im Stande wären, zur Ernährung der Organe eines anderen Thieres verwendet zu werden.

Noch bedeutender ist die Umwandlung derjenigen eiweißartigen Nahrungssubstanzen, welche in thierische Farbstoffe übergehen. Mehrere dieser Farbstoffe kommen in Absonderungen des Thieres, z. B. in der Galle, vor; aber wir meinen hier nur diejenigen, welche einen dauernden Bestandtheil des thierischen Körpers und vorzüglich seiner Säfte darstellen. Die rothe Farbe des Wirbelthierblutes rührt von einem solchen Farbstoffe her. Das Blutroth besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff, und es scheint überdieß noch Eisen als wesentliches Element in seine Zusammensetzung einzugehen. Dieser Blutfarbstoff steht mit dem Athmungsprocesse jedenfalls in näherer Beziehung; das Blut kommt dunkler in unsere Lungen und geht, nachdem es geathmet hat, mit hellrother Färbung wieder zum Herzen zurück. In dieser Beziehung darf das Blutroth wohl mit dem Chlorophyll der Blätter verglichen werden; beide Farbstoffe enthalten Stickstoff und vermitteln wahrscheinlich den Austausch der Gase, nur daß jenes die Aufnahme von Sauerstoff und die Ausscheidung von Kohlensäure, dieses den umgekehrten Proceß unterstützt.

Die stickstoffhaltigen Bestandtheile des thierischen Körpers sind also den stickstoffhaltigen Substanzen des Pflanzenreiches sehr ähnlich, wenn sie auch nicht durchaus mit ihnen identisch sind. Es bedarf daher nur einer geringen Umwandlung, um im Processe der Ernährung die ersteren aus den letzteren hervorzubilden. Das Fibrin, Albumin und Kasein des Thierkörpers gehen wohl unmittelbar aus den pflanzlichen Nahrungs-

Digitized by Google

mitteln hervor, und der Leim und der Blutfarbstoff müssen, da sie dem Thierkörper ganz eigenthümlich sind, als entferntere Produkte der Ernährung angesehen werden.

Auch in Bezug auf die stickstofflosen Bestandtheile stimmt der thierische Körper nicht vollkommen mit dem pflanzlichen überein. Gemeinschaftlich sind beiden die Fette und fetten Oele, doch so, daß im Allgemeineren die festeren Fette im Thierreiche überwiegen. Aber das Verhalten der stärkmehlartigen Substanzen ist bei Pflanzen und Thieren überaus verschieden. Während die Cellulose die Grundlage aller pflanzlichen Zellenwandungen bildet, gibt es nur eine Abtheilung der niedersten Weichthiere, die Tunikaten, bei welchen Cellulose an der Bildung der Gewebe Theil nimmt; vielleicht gehört hieher auch das Chitin, welches in dem Hautskelet der Gliederthiere, der Insekten, Spinnen und Krebse, angetroffen und meist als eine Verbindung der Cellulose mit einem eiweißartigen Stoffe betrachtet wird. Dextrin, welches das vorzüglichste Bildungsmaterial der Pflanzensäfte darstellt, ist in den Thieren bis jetzt nirgends gefunden worden, und dasselbe gilt von dem Stärkmehl, welches sich in den Pflanzenzellen so häufig ablagert. Dagegen fehlt der Zucker nicht ganz in den thierischen Säften. Im Eiweiß bebrüteter Eier und im Gewebe der Leber ist Krümelzucker nachgewiesen worden. Vorzüglich spricht aber für das Vorkommen des Zuckers im Thierkörper die Thatsache, daß dieser Stoff in einzelnen Absonderungen sich sehr reichlich vorfindet. Die Milch der Säugethiere enthält immer eine bedeutendere Menge, zwischen 3 und 8 Proc., Milchzucker; bei der zuckrigen Harnruhr dagegen enthält der Urin des Menschen noch größere Massen von Krümelzucker. Man muß natürlich annehmen, daß diese normalen oder krankhaften Absonderungen ihren Zucker aus dem Blute erhalten; und in der That ist der Zucker nicht nur im Blute der Harnruhrkranken, sondern neuestens auch im gesunden Blute nachgewiesen worden.

Von den stickstofflosen Substanzen, welche an der Zusammensetzung der organischen Körper Theil nehmen, gehen also

Digitized by Google

die Fette überwiegend in die Substanz des thierischen Körpers ein. Von den stärkmehlartigen Stoffen fehlen in ihm gerade Stärkmehl und Dextrin, welche die Anfangspunkte dieser Stoffreihe bilden; die höheren Stufen, Zucker und Cellulose, theilt das Thierreich mit dem Pflanzenreich; von den Zuckerarten hat es sogar eine besondere, den Milchzucker, für sich. Im Allgemeinen aber stehen die stärkmehlartigen Substanzen des Thierkörpers weit hinter den Fetten zurück. In der Pflanze ist es umgekehrt, und man kann nach den neuern Untersuchungen nicht umhin, anzunehmen, daß die löslichen, stärkmehlartigen Stoffe der Pflanzen, nachdem sie in die Säftemasse der Thiere übergegangen sind, zum größten Theile in Fett übergeführt werden.

So bewahrt das Thier, trotz seiner allgemeinen, chemischen Uebereinstimmung mit der Pflanze, doch einen eigenthümlichen chemischen Charakter. Seine stickstoffhaltigen und seine stickstofflosen Bestandtheile liegen mehr gegen das Ende, als gegen den Anfang der betreffenden chemischen Entwicklungsreihen hin; im Pflanzenreiche hingegen sind gerade die ersten Stufen jener Reihen besonders deutlich ausgeprägt. Dieser Charakter der Zusammensetzung hängt theils mit der Bildung theils mit der Zerstörung der thierischen Substanz innig zusammen. Wir haben wiederholt gezeigt, daß nur die Pflanze, nicht aber das Thier im Stande ist, aus unorganischen Nahrungsmitteln organische Stoffe zu bilden. Das Thier erhält die Nahrung, durch welche es seine Organe erneuert, schon vorbereitet, schon als organische Nahrung aus dem Pflanzenreiche. Daher fehlen im Thiere auch jene vegetabilischen Säuren, welche als Vorstufen der stärkmehlartigen Stoffe betrachtet werden, nämlich Citronensäure, Aepfelsäure und Weinsteinsäure. Daher enthält aber auch der Thierkörper nicht blos die letzten Stufen der Stärkmehlreihe und die letzten Umbildungen der eiweißartigen Stoffe; sondern er zeichnet sich insbesondre durch saure und alkalische Substanzen aus, welche fast nur als Zersetzungsprodukte der aufgenommenen und assimilirten Nahrungsmittel angesehen werden

können. Dahin gehören von stickstofflosen Säuren die Milchsäure, welche nicht nur im Magen, sondern auch im Muskelfleische und ohne Zweifel im Blute der Thiere enthalten ist, und die harzähnliche Cholsäure, welche die thierische Galle auszeichnet. Dahin muß jedenfalls die stickstoffhaltige Harnsäure des Urins gerechnet werden. Die Alkaloide, welche hier in Betracht kommen, enthalten alle Stickstoff; die vornehmsten sind das Kreatin des Muskelfleisches, der Harnstoff des Urins und das schwefelhaltige Taurin der Galle.

So neigt sich die Mehrzahl der thierischen Substanzen nicht nach der Seite der Stoffbildung, sondern nach der Seite der Stoffzersetzung hin. Damit hängt es eben zusammen, daß die Absonderung zersetzter organischer Stoffe im Thiere eine große Wichtigkeit erhält, während sie in der Pflanze nur erst untergeordnet auftritt. In den Pflanzen kommen auch ätherische Oele und Harze, Gummi und Zucker als Aussonderungen vor; aber diese lassen sich weder nach ihrer Masse, noch nach ihrer physiologischen Bedeutung mit dem stickstoffreichen Harne oder mit der kohle- und wasserstoffreichen Galle der Thiere zusammenstellen. Dieser chemische Charakter wird noch entschiedener, wenn man den gasförmigen Stoffwechsel der Thiere mit dem der Pflanzen vergleicht. Die Pflanzen nehmen durch ihre grünen Theile bei Tag Kohlensäure als Nahrung auf und hauchen dagegen den Sauerstoff aus, welcher in Folge des Ernährungsprocesses frei wird. Außerdem absorbirt die nichtgrüne Pflanzenoberfläche fortdauernd und die grüne bei Nacht Sauerstoffgas und scheidet dafür Kohlensäure aus; die letztere ist nichts als ein Zersetzungsprodukt der Pflanzensubstanz. Dieser gasförmige Stoffwechsel liefert also zweierlei Produkte, das Sauerstoffgas als Resultat des stoffbildenden Processes und das kohlensaure Gas als Resultat des stoffzersetzenden Processes im Innern der Pflanze. Diese entgegengesetzten Processe gehen in der Pflanze fortwährend neben einander her; aber der erstere Proceß, die Stoffbildung und Sauerstoffausscheidung behauptet das Uebergewicht.

Beim Thiere hingegen bleibt von beiden Processen nur der eine übrig, nämlich die Aufnahme von Sauerstoff und die Ausscheidung von Kohlensäure. Was man als die Athmung der Thiere bezeichnet, ist nichts Anderes, als eine Zersetzung von organischer Substanz durch aufgenommenen Sauerstoff und eine entsprechende Ausscheidung von neugebildetem, kohlensaurem Gase. Diese thierische Athmung gehört daher in Eine Klasse mit der Verwesung und Verbrennung organischer Körper. Was hier schnell und gewaltsam geschieht, das vollbringt der Sauerstoff der Atmosphäre in der Athmung allmählig. Aber der Sauerstoff äußert seine Wirkungen nicht blos in dem Athmungsprocesse; auch die eigentlichen Absonderungen der Thiere zeichnen sich vor den pflanzlichen durch ihren Sauerstoffreichthum aus. Auf solche Weise wird in allen Theilen und durch alle Funktionen des thierischen Körpers die organische Substanz wieder zersetzt, welche das Thier aus dem Pflanzenreiche aufgenommen und sich angeeignet hatte. Die zersetzten Stoffe stößt das Thier durch die Processe der Athmung und der Absonderung an die Oberfläche aus, und hier zerlegen sie sich fernerhin zu binären Combinationen der unorganischen Natur.

Der Stoffwechsel des Thieres zerfällt demnach in dieselben Stadien, welche bei der Pflanze unterschieden wurden. Er beginnt mit der Aufnahme der Nahrung; er schreitet fort zu ihrer Aneignung; hiebei unterliegt er dem Athmungsprocesse, welcher zur vollständigen Ausbildung der thierischen Säfte nothwendig erscheint; endlich, nachdem die angeeigneten Stoffe eine Zeit lang den Funktionen der einzelnen Organe gedient haben, schließt sich der Stoffwechsel ab mit der Ausscheidung der fernerhin unbrauchbaren Substanzen durch die absondernden Oberflächen. Aber das Verhältniß dieser Stadien ist bei den Thieren anders, als bei den Pflanzen. Die Athmung und Absonderung überwiegt über die Aufnahme und Aneignung.

Wenn man diese verschiedenen Seiten des Stoffwechsels betrachtet, so entsteht natürlich die Frage, ob unter den aufge-

Digitized by Google

nommenen Nahrungsmitteln sich nicht die einen mehr dieser, die andern mehr einer andern Seite des Stoffwechsels zuwenden. Die Hauptmasse der thierischen Organe besteht aus stickstoffhaltigen Substanzen. Stickstofflose Stoffe kommen meistens nur untergeordnet und in der Form von Fetten vor. Unter diesen Umständen erschien es sehr annehmbar, als Liebig die Ansicht aufstellte, nur die stickstoffhaltigen Nahrungsmittel dienen eigentlich zur Erneuerung der Organe, die stickstofflosen seien dem Athmungsprocesse gewidmet; jene gehen in die eigentliche Substanz des thierischen Körpers über, diese verbrennen in der Athmung unter Aufnahme von Sauerstoff und Ausscheidung von Kohlensäure. Liebig unterschied daher die Nahrungsmittel in stickstofflose Respirationsmittel und in stickstoffhaltige, eigentliche Nährstoffe. Diese Ansicht scheint indeß nicht unbedingt gültig zu sein. Von den stickstoffhaltigen Substanzen, welche der thierische Körper aufnimmt, dürfte ein Theil auch zur Athmung verwendet werden; und ebenso geht wahrscheinlich eine kleine Menge der stickstofflosen Nahrungsmittel auch in die Substanz der Organe ein. Trotz dieser Einschränkung behält indeß die von Liebig aufgestellte Regel ihre bedingte Richtigkeit: sehr überwiegend sind die stickstofflosen Substanzen der Athmung, die stickstoffhaltigen der Ernährung bestimmt.

Wenn das Verhältniß der einzelnen Stadien des Stoffwechsels bei den Thieren nicht dasselbe ist, wie bei den Pflanzen, so können auch die Effekte des Stoffwechsels in beiden Reichen nicht ganz dieselben bleiben. Unter diesen Effekten ist einer der vornehmsten die Wärme. Wir haben früher gezeigt (II. 110), daß den Pflanzen eine Eigenwärme zukommt, welche ihren Grund theils in der Ernährung, theils in der Athmung der Gewächse hat. Was die Ernährung betrifft, so kann diese im Thiere kaum eine merkliche Wärmequantität erzeugen; denn es steht hier dem Processe der Gestaltung, des Festwerdens der aufgenommenen Nahrungsstoffe der Vorgang der Absonderung, der Wiederverflüssigung der organischen Substanz gegenüber. Wäh-

Digitized by Google

rend auf der einen Seite die Cohäsionsvermehrung Wärme erzeugen könnte, wird dieser Effekt auf der andern Seite wieder durch die wärmeabsorbirende Cohäsionsverminderung ausgeglichen. Um so energischer wirkt im thierischen Körper der Athmungsproceß. Der eingeathmete Sauerstoff dringt zu allen Theilen des thierischen Körpers; und da ihm nirgends, wie in der Pflanze, ein Desoxydationsproceß gegenübersteht, so verbindet er sich überall mit der Substanz des thierischen Körpers und leitet ihre Zersetzung und ebendamit die Ausscheidungsprocesse vorzüglich ein. Ueberall erregt also der aufgenommene Sauerstoff eine langsame Oxydation und Verbrennung; aber das bedeutendste Resultat dieser Einwirkung ist die Kohlensäure, welche im Innern durch Verbrennung von Kohlenstoff gebildet und an der Oberfläche ausgehaucht wird. Die größte Menge des eingeathmeten Sauerstoffes wird zur Bildung dieser Kohlensäure verwendet.

Nach den Regeln der Chemie muß zum voraus angenommen werden, daß die Einwirkung des Sauerstoffes auf die thierische Substanz und insbesondere die Verbindung desselben mit Kohlenstoff eine bedeutende Wärmeentwicklung zur Folge hat. Und in der That steht der Grad der thierischen Wärme in einem genauen Verhältniß zu der Menge des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgehauchten Kohlensäure. Die thierische Wärme wird daher durch einen Proceß erzeugt, welcher mit den gewöhnlichen Verbrennungen (I. 148) wesentlich übereinstimmt. Diese Ursache der Wärme scheint, wenn nicht die einzige, doch die weit überwiegende zu sein. Sie ist in den Thieren im Allgemeinen weit kräftiger, als in der Pflanze, und ihre Wirkungen sind dort weit weniger durch entgegengesetzte Processe gehindert. Von kältemachenden Vorgängen gehört hieher nur die Verdunstung von wäßriger Feuchtigkeit, welche an der Oberfläche aller in der Luft lebenden Thiere geschieht. Dagegen fällt ganz die Abkühlung weg, welche in den grünen Pflanzentheilen durch das Freiwerden von Sauerstoffgas nothwendig

Digitized by Google

entsteht. So kommt es, daß die thierische Wärme durch eine einfachere und stärkere Ursache hervorgebracht und durch fremdartige Einflüsse weniger geschwächt wird, als die Wärme der Pflanzen. Wenn hienach die organische Eigenwärme bei den Thieren im Allgemeinen viel bedeutender ist, so muß doch zugegeben werden, daß zwischen den einzelnen Thiergruppen selbst wieder die größten Verschiedenheiten vorkommen. Wir werden den Gegensatz der warmblütigen und der kaltblütigen Thiere später ins Auge fassen.

Durch die höhere Eigenwärme erscheint das Thier selbständiger gegenüber von der umgebenden Schöpfung. Es bewahrt nicht blos mit größerer oder geringerer Zähigkeit seine eigene Temperatur; sondern es gibt auch an kältere Medien noch von seiner eigenen Wärme ab. So verändert das Thier selbstthätig die Verhältnisse der umgebenden Körper. Aber durch andere Vorgänge greift es noch mächtiger in fremde Zustände ein. Wir steigen zunächst nicht zu denjenigen Funktionen auf, in welchen das Thier sich als besonders selbstthätig zeigt; sondern wir haben noch aus dem Gebiete des Stoffwechsels selbst Beispiele von solchem Eingreifen hervorzuheben. Die Absonderungsstoffe, welche das Thier in seinem Innern erzeugt und an seiner Oberfläche ausleert, können nicht ohne Einfluß auf die umgebende Schöpfung bleiben. Wie sie durch ihr chemisches Zerfallen zur Ernährung der Pflanze dienen, ist schon (II. 119) gezeigt worden. Aber hier ist es nothwendig, auf diejenigen Fälle hinzuweisen, wo die Absonderungsstoffe zu den Zwecken des Thieres selbst verwendet werden.

Die Nahrungsstoffe, welche die Pflanze aufnimmt, erleiden eine Einwirkung von der Pflanze erst dann, wenn sie in die oberflächlichen Zellen eingetreten sind. Aber bei allen Thieren werden die Nahrungsmittel schon an der Oberfläche selbst durch Absonderungsstoffe verändert; d. h. sie werden verdaut. Der Speichel, der Magensaft, die Galle und der Bauchspeichel sind nichts Anderes, als Absonderungen, welche von eigenen Drüsen gebildet und an die menschliche Darmoberfläche ausgeleert werden,

Digitized by Google

um hier die Speisen chemisch zu verändern, um sie insbesondere durch völlige Verflüssigung zum Durchgang durch die Darmhäute vorzubereiten. Die Aufnahme der Speisen in die Höhle des Magens und Darmkanals ist nämlich keineswegs als ein Uebergang derselben ins Innere des Körpers zu betrachten; sondern die Verdauungsorgane stellen ebensogut, als die allgemeinen Bedeckungen, nur eine Oberfläche, aber eine nach innen gekehrte Oberfläche unseres Körpers dar. So sehr also auch die Thiere in Bezug auf die stoffbildende Energie ihres inneren Stoffwechsels hinter den Pflanzen zurückbleiben, so bethätigen sie doch den eigenthümlichen Vorzug ihrer Natur durch den Einfluß, welchen sie auf die Nahrungsmittel schon an ihrer Oberfläche ausüben. Die Sekretionen erhalten aber eine höhere Bedeutung nicht nur als Hilfsmittel der Verdauung; sondern bei den höchsten Thieren, bei den Säugthieren, tritt ein eigenthümlicher Absonderungsstoff, die Milch, als Nahrung für die jungen Individuen derselben Species auf. Alle Stoffarten, die zur Ernährung wesentlich nothwendig sind, sowohl stickstoffhaltige als stickstofflose, sowohl organische als unorganische Substanzen werden durch die Milch dem jungen Säugthiere zugeführt. Während die Sekrete der Verdauungsorgane nur die Aufnahme fremder Nahrungsstoffe vorbereiten, wird im Sekrete der Milch eine wirkliche, umfassende Nahrung dargeboten.

An diese besonderen Sekretionen schließt sich die Fortpflanzung an. Während dort meist abgenützte Substanzen und nur bei der Milch neue, zur Nahrung passende Stoffe abgesondert werden, reißt sich hier neuer, höchst bildbarer Stoff von Mutterorganismus los, um die Grundlage für ein neues Individuum zu bilden. Absonderung und Fortpflanzung gleichen sich in dieser Lostrennung organischer Substanz; aber sie sind wesentlich verschieden durch die Bedeutung, welche den losgetrennten Stoffen zukommt. Im Uebrigen verhält sich die Fortpflanzung bei Pflanzen und Thieren wesentlich gleich. Jedes neue Individuum bedarf zu seiner Entstehung auch im Thier-

Digitized by Google

reiche einen Mutterorganismus, und die Summe der Individuen, welche als die Nachkommen desselben Mutterorganismus betrachtet werden können, gilt als thierische Species.

Wärmeerzeugung, Absonderung und Fortpflanzung stellen die drei Richtungen dar, in welchen das Thier auf seine Umgebung stofflich bestimmend einwirkt. Die dritte Richtung hat das Thier mit der Pflanze gemein. Auch die zwei ersten fehlen der Pflanze nicht ganz; aber sie haben erst beim Thiere ihre volle Geltung und Bedeutung erlangt. Diese Eingriffe des Thieres in die chemischen Verhältnisse seiner Umgebung erscheinen aber sehr gering, wenn man sie mit den innigen Wechselbeziehungen vergleicht, welche das Thier an die physikalischen Verhältnisse der umgebenden Schöpfung knüpfen. Wir haben die hauptsächlichen dieser Beziehungen schon früher (II. 87) als zweifach, als bewußte Sinnesthätigkeit und als willkührliche Bewegung bezeichnet.

Es sind die allgemeinen physikalischen Agentien, mit welchen das Thier durch seine Sinnesthätigkeit in ein bestimmtes Verhältniß tritt. Aber nicht alle jene Agentien wirken gleichmäßig auf das Thier ein. Vor Allem fällt die chemische Verwandtschaft weg, welche in dem thierischen Stoffwechsel ihr eigenes Gebiet findet. Aber auch von den übrigen scheint der thierische Körper nicht immer einen bestimmten Eindruck zu erhalten. So werden wir uns der Schwere oder der verschiedenen Cohäsionszustände direkt nicht bewußt, und ebensowenig empfinden wir unmittelbar die Wirkungen des Magnetismus. Aber die Bewegungen äußerer Körper, der Schall, das Licht und die Wärme wird von uns, jedes in seiner eigenen Weise, empfunden, und ebenso wirkt die Elektricität in verschiedener Weise auf unsere Sinne ein. Alle jene Agentien, welche wir als besondere empfinden, sind nun nichts Anderes, als Bewegungsformen der Körper (I. 161). Denn wir haben gezeigt, daß nicht blos die mechanische Bewegung auf einer Ortsveränderung beruht, sondern daß auch die Phänomene des Schalles,

Digitized by Google

des Lichtes und der Wärme wahrscheinlich nur in verschiedenartigen Schwingungen begründet sind. Ebenso gehört hieher die Elektricität; denn sie bleibt nicht ruhend, wie der Magnetismus, sondern bewegt sich durch Leiter fort. Wenn wir also früher die allgemeinen physikalischen Agentien in bewegende Kräfte und in Bewegungen unterschieden, so bringen die ersteren keine Sinneseindrücke im thierischen Körper hervor; die zweiten aber sind es gerade, von welchen das Thier bestimmte Eindrücke erhält. Zu jenen gehört die Kraft der Cohäsion, der Schwere, des Magnetismus und der chemischen Verwandtschaft; zu diesen das Licht, der Schall, die mechanische Bewegung und die Wärme; zwischen beiden Gruppen steht die Elektricität in der Mitte.

Es ist kaum nothwendig, hier noch weitläufiger darauf hinzuweisen, wie die verschiedenen Eindrücke in den verschiedenen Sinnesorganen des Menschen geschehen. Das tägliche Leben bietet hiefür genügende Beispiele dar, und überdieß haben wir in unserm ersten Abschnitte schon bei jedem Agens darauf Rücksicht genommen, in welchem Verhältnisse dasselbe zum Leben des Menschen steht. Während aber unser Auge, unser Ohr und unsre äußere Haut mit äußeren Einflüssen in Beziehung treten, welche im großen Ganzen der Natur überall sich äußern und deren Gesetze daher wohl untersucht sind, so trifft man beim Menschen noch zwei Sinne, den Geschmack und Geruch, von denen es zweifelhaft bleiben muß, wie sie mit den allgemeinen Kräften oder Bewegungen zusammenhängen. Die Eigenschaft gewisser Körper, zu schmecken oder zu riechen, bezieht sich immer nur auf die thierische Organisation, und wir wissen von ihr im Allgemeinen daher ebensowenig, als wir vom Lichte wüßten, wenn dieses uns nur von einigen Körpern als ihre Eigenschaft, das Auge zu afficiren, bekannt wäre. Die Allgemeinheit der physikalischen Agentien, ihre Fähigkeit, außer den Sinneseindrücken auch noch andere Effekte hervorzubringen, hat ihre genaue Erforschung erst möglich gemacht. Ebenso können

Digitized by Google

wir über die Bedingungen des Schmeckens und des Riechens erst dann ins Klare kommen, wenn wir an den schmeckenden und riechenden Körpern auch noch anderseitige Beziehungen entdecken, welche mit ihrem Geschmack und Geruch in bestimmtem Zusammenhange stehen. Wir sind von diesem Ziele noch weit entfernt, und bis jetzt läßt sich nur aussprechen, daß der Geschmack und Geruch über manche chemische Verschiedenheiten der Körper Aufschluß geben. Säuren schmecken sauer, Alkalien laugenhaft; alle ätherischen Oele sind durch eigenthümliche Gerüche ausgezeichnet. Aber diese Beziehung ist nicht durchgreifend und kann nicht sowohl für eine Lösung der Frage, als nur für einen Wink zu ihrer Lösung gelten.

Alle Sinneseindrücke wirken auf die Oberfläche des thierischen Körpers; aber sie verwandeln sich in Sinnesempfindungen erst dadurch, daß sie ins Innere des Thieres aufgenommen werden. Diese Nothwendigkeit leuchtet ein, wenn auch von den Apparaten, welche die Aufnahme vermitteln, jetzt noch nicht die Rede sein kann. Das Auge sieht nicht; es nimmt nur den Eindruck der Lichtstrahlen auf, und erst im menschlichen Gehirn gestaltet sich dieser Eindruck zu einer bewußten Empfindung. Das menschliche Gehirn mag hier vorerst als das Beispiel eines Organes betrachtet werden, das die Aufnahme der Sinneseindrücke ins Innere vermittelt. Dieses Innerste ist eben das Bewußtsein des Thieres, welches sich als Einheit allen besonderen Sinneseindrücken gegenüberstellt; indem diese Eindrücke das Bewußtsein afficiren, werden sie zu thierischen Empfindungen erhoben. Zu diesem inneren Vorgange ist das Gehirn nicht wesentlich nothwendig; auch bei den niederen Thieren, welchen ein Gehirn fehlt, kann man nicht an einem Bewußtsein zweifeln, welches, wenn auch in dunkler Weise, die Sinneseindrücke aufnimmt. Indeß gelangen keineswegs alle Eindrücke der äußeren Agentien zum Bewußtsein. Die Organe, welche den Kreislauf des Blutes, die Verdauung der Nahrungsmittel oder die Absonderung der Sekrete übernehmen, erhalten

Digitized by Google

sehr verschiedenartige Eindrücke von den Stoffen, die sich in ihren Hohlräumen bewegen; aber keines dieser Organe erregt in unserem Bewußtsein Empfindungen, welche sich in Bezug auf Klarheit und Bestimmtheit nur entfernt mit den Sinnesempfindungen vergleichen ließen. Diese Eindrücke bleiben darum nicht ohne Wirkung; aber ihre Effekte geschehen in Kreisen, welche tiefer liegen, als das Gebiet des Bewußtseins.

Es mag hier sogleich bemerkt werden, daß die Eindrücke, welche auf die Oberflächen der Kreislaufs-, der Verdauungs- und der Absonderungsorgane geschehen, zu Bewegungen dieser Organe Veranlassung geben. Der Reiz des Blutes erregt mittelbar die Bewegung des Herzens; der Reiz der Speisen führt mittelbar ihre Fortbewegung im Darmrohre herbei. Der Eindruck verfolgte die Richtung von außen nach innen; die Bewegung geht umgekehrt von innen nach außen; und dieser Gegensatz besteht zwischen allen Eindrücken physikalischer Agentien, welche der Organismus aufnimmt, und zwischen allen Bewegungen, welche er ausführt. Ehe wir diesen Gegensatz weiter verfolgen, ist es nothwendig, über die Art der thierischen Bewegungen etwas Näheres beizubringen.

Wenn wir die Wärme in Schwingungen der Körper setzen, so ist jene als die erste Bewegung zu nennen, zu welcher das Thier in seiner Umgebung den Anstoß gibt. Aber wir finden in dieser Wärmeerzeugung durchaus nichts, was das Thier, was den Organismus überhaupt vor allen unorganischen Körpern auszeichnen würde. Wie chemische Processe, wie besonders Verbrennungen Wärme hervorbringen, auf dieselbe Weise geht aus der Einwirkung des Sauerstoffes auf die thierischen Gewebe und vorzüglich aus der Athmung die Eigenwärme der Thiere hervor. Hier handelt es sich also nicht von einem speciell organischen Vorgange, wie ihn z. B. die Wärmeempfindung der Thiere darstellt. Die äußere Wärme befördert den thierischen Stoffwechsel, und ebenso entspringt aus diesem Stoffwechsel die Wärmeabgabe nach außen; das Thier theilt

Digitized by Google

also mit der umgebenden Natur das allgemeine Gesetz, daß der chemische Verbindungsproceß und die Wärme in einer innigen Wechselbeziehung zu einander stehen (I. 146 ff.). Anders als durch Vermittlung chemischer Vorgänge ist das Thier nicht im Stand, Wärme zu erzeugen.

Schwieriger ist die Lichtbildung zu erklären, welche man bei einer ziemlichen Anzahl von niederen Thieren beobachtet. In manchen Fällen ist das Licht die einfache Folge eines chemischen Processes, ähnlich dem Leuchten des langsam verbrennenden Phosphors. Auf solche Weise verhält es sich bei Thieren, welche in der Luft leben, z. B. unter den Insekten beim Leuchtkäfer. Es ist ist eine eigene halbflüssige Substanz, welche hier leuchtet und welche auch der Hand oder den Instrumenten die Eigenschaft zu leuchten mittheilt. Der Sauerstoff spielt hiebei eine Hauptrolle; das Leuchten zeigt sich in der atmosphärischen Luft; es wird stärker in reinem Sauerstoffgase, und fehlt ganz im luftleeren Raume oder in einer sauerstofflosen Atmosphäre. Eine Entbindung von kohlensaurem Gas begleitet immer das Phänomen des Leuchtens. Es kann kein Zweifel sein, daß dieses Licht völlig mit demjenigen übereinstimmt, welches bei langsamen Verbrennungen der Körper gebildet wird; hier wie dort ist es die höhere Temperatur, welche das Leuchten oder Glühen zur Folge hat. Die Thiere leuchten auch nach ihrem Tode fort. Ueber die Natur der leuchtenden Substanz und besonders über ihre chemische Zusammensetzung ist indeß durchaus nichts Sicheres bekannt. Aber so viel ist sehr wahrscheinlich, daß dieses Leuchten mit dem Athmen der Insekten zusammenhängt. Der Sauerstoff, welcher eingeathmet wird, unterhält den Verbrennungsproceß, der dem Leuchten zu Grunde liegt, und die Stärke des Lichtes hängt insofern von dem Willen des Thieres ab, als dieses sein Athmen willkührlich steigern oder vermindern kann. Das Licht, welches auf solche Weise erzeugt wird, ist also nur eine entferntere Folge des organischen Stoffwechsels, und es gleicht hierin nicht nur der thierischen Wärme, sondern auch jenem Lichte, das manche Pflanzen her-

vorbringen. Namentlich gibt es unterirdische Pilze, welche dieses Leuchten deutlich zeigen; es hängt bei diesen offenbar mit der Gegenwart von Feuchtigkeit, Wärme und Sauerstoffgas zusammen, und rührt gleichfalls von einer langsamen Orydation der oberflächlichen Substanz jener Pflanzen her.

Großartiger, als bei den Insekten, tritt die Lichtentwicklung bei niederen Seethieren auf. Das wunderbare Licht, welches die Meere der Erde nächtlich erhellt und theils in zerstreuten Funken theils als gleichförmig verbreitete Masse sich darstellt, rührt nicht von einer Substanz her, die dem Meerwasser beigemischt wäre; sondern es wird durch niedere Seethiere, durch Mollusken, Medusen, Polypen und Infusorien, und unter den letzten besonders durch die mikroskopischen Noktiluken hervorgebracht. Wie verhält sich nun dieses Licht? hat es seinen Grund auch in einer langsamen Verbrennung organischer Absonderungsstoffe? Daß ein solcher Vorgang auch hier, wie bei den Luftthieren, bisweilen zu Grunde liegt, kann nicht geläugnet werden; aber Ehrenberg, Becquerel und Quatrefages halten es außerdem für wahrscheinlich, daß bei den Seethieren auch andere organische Vorgänge die Lichtentwicklung veranlassen. Wir lassen es dahingestellt, ob von einem direkten, vom Willen abhängigen Leuchten der Thiere die Rede sein kann; aber es scheint uns sehr passend, die Vermuthung jener Naturforscher zu wiederholen, daß elektrische Vorgänge im Innern der Seethiere die Lichtentwicklung hervorrufen. Bei vielen dieser Thiere ist es nicht gelungen, eine leuchtende Substanz zu unterscheiden, welche sich, wie bei den Insekten, an fremde Körper anhängen würde. Das Leuchten jener Thiere besteht ferner nicht in einem gleichförmigen Ausströmen von Licht, sondern in einem Funkensprühen, welches mit dem Ueberschlagen sehr feiner elektrischer Funken Aehnlichkeit hat. Was uns aber jene Annahme eines elektrischen Lichtes am annehmbarsten macht, das ist die bestimmte Beobachtung, daß durch Bewegungen der Thiere das Leuchten sehr vermehrt wird, und daß die Funken vorzüglich an den Be-

Digitized by Google

wegungsorganen im Augenblicke ihrer Zusammenziehung zum Vorscheine kommen. Thierische Bewegung und Elektricität sind nämlich neuestens in eine Beziehung zu einander gesetzt worden, von welcher man früher keine Ahnung hatte.

Unter den thierischen Bewegungen versteht man in der Regel solche Ortsveränderungen, welche in der Physik in dem Abschnitte von der Mechanik abgehandelt werden. Auch der Pflanze fehlen diese Bewegungen nicht ganz; aber beim Thier entwickeln sie sich zu einem der hervorragendsten Charaktere, und überdieß unterscheidet sich das Thier durch seine willkührlichen Bewegungen deutlich von allen Pflanzen. Wie die Eindrücke äußerer physikalischer Agentien ins Innere des Thieres aufgenommen werden und auf das Eine Bewußtsein des Thieres einwirken, ebenso gehen von diesem Mittelpunkte Motive aus, welche die äußeren Organe in Bewegung setzen. Auch für diese verschiedenartigen Bewegungsreize bildet das menschliche Gehirn ein Centrum, von welchem alle ausstrahlen; aber das Bewußtsein existirt auch bei hirnlosen Thieren gegenüber von den mannigfaltigen Bewegungen als der vereinigende und erregende Mittelpunkt. Man nennt diese Bewegungen, welche mit Bewußtsein geschehen, bewußte oder willkührliche. Sie verhalten sich zu den Sinneseindrücken nicht selten als Folgen; denn der Sinneseindruck, welchen das Thier in sein Bewußtsein aufnimmt, bestimmt dasselbe oft zu angemessenen, willkührlichen Bewegungen. Aber diese Folge ist nur eine mittelbare; zwischen die Empfindung und das Motiv zur Bewegung tritt noch das Bewußtsein des Thieres, welches sowohl die Sinneseindrücke verschieden aufnimmt, als verschiedene Bewegungen, bisweilen auch gar keine auf dieselben folgen läßt.

Während hier wohl ein innerer Zusammenhang, aber keine bindende Nothwendigkeit Eindruck und Bewegung unter einander verkettet, verhalten sich jene Eindrücke, die nicht zum Bewußtsein gelangen, sehr verschieden. Wenn Speisen in unsern Magen kommen, so bringen sie hier einen Eindruck hervor, welcher

besonders ihrem mechanischen Verhalten, ihrer äußeren Form entspricht. Daß wirklich ein solcher Eindruck auf unsere Magenoberfläche geschieht, erfahren wir aber nicht durch unser Bewußtsein, sondern wir schließen es aus den Bewegungen, welche auf jenen Eindruck unmittelbar folgen und die Fortschiebung der Speisen übernehmen. Der Eindruck wird also auch hier ins Innere aufgenommen; aber er gelangt nicht zum Bewußtsein und gibt auf einer niederern Sphäre den Anstoß zur Hervorbringung angemessener Bewegungen. Man nennt solche Bewegungen unbewußte oder unwillkührliche und, sofern sie der unmittelbare Reflex äußerer Eindrücke sind, auch Reflexbewegungen. Sie sind vorzüglich den Organen des Stoffwechsels, des Kreislaufes, der Verdauung und Absonderung eigenthümlich. Mit den Eindrücken, auf welche sie erfolgen, hängen sie durch eine innere Nothwendigkeit zusammen.

Alle diese thierischen Bewegungen, sie mögen willkührlich oder unwillkürlich erfolgen, beruhen auf Verkürzungen einzelner Theile. In dieser Hinsicht gleichen sie den pflanzlichen Bewegungen; aber auf der andern Seite haben wir schon früher gezeigt (II. 137), daß die Gelenke der Pflanzen bei ihrer Bewegung erschlaffen, während die thierischen Theile in demselben Fall eine Anschwellung und größere Straffheit erhalten. Dieser Unterschied ist bis jetzt nicht weiter aufgeklärt; wir werden auf ihn aber noch später, bei dem Baue der thierischen Bewegungsorgane und insbesondre der Muskel zurückkommen. Aber es ist hier noch die Frage zu berühren, ob in den thierischen Bewegungen sonst nichts unterschieden werden kann, was sie als thierische charakterisirt, ob insbesondere die Willkührlichkeit nicht dem Mechanismus der thierischen Bewegungen überhaupt ein eigenthümliches Gepräge aufdrückt. An zusammengesetzten Thieren läßt sich diese willkührliche Bewegung leicht erkennen; aber es scheint, daß auch die einzelligen Infusorien sich anders fortbewegen als die einzelligen Algen. Bei den ersteren ist jeder Theil der Körperoberfläche einer Bewegung fähig; der ganze

Digitized by Google

Körper kann sich zusammenziehen, einschnüren und ausstülpen. Aber bei den niedersten Pflanzen scheint die Bewegung des ganzen Körpers nicht durch Zusammenziehungen der ganzen Oberfläche zu geschehen; der Körper selbst bleibt starr, und die Bewegung geschieht entweder durch schwingende Wimper oder durch Ursachen, die bis jetzt noch nicht erforscht werden konnten. Der Willkührlichkeit der Bewegung, d. h. dem eigenthümlichen inneren Grunde der Bewegung entspricht also bei den niedersten Thieren eine allgemeine Beweglichkeit der Oberfläche. Bei den Pflanzen hingegen tritt die Bewegung immer als ein vereinzeltes, untergeordnetes und vorübergehendes Phänomen auf.

Diese Verhältnisse der thierischen Bewegungen sind schon längere Zeit bekannt gewesen; man hatte sich besonders daran gewöhnt, die willkührliche Bewegung als dem Thiere eigenthümlich darzustellen. Aber in den inneren Vorgang der Bewegung fängt man jetzt erst an, tiefer einzudringen, und dieser Fortschritt wird besonders durch die Untersuchungen Dubois-Reymond's über thierische Elektricität bezeichnet. Als sicheres Resultat dieser Untersuchungen läßt sich annehmen, daß in jedem Theile des thierischen Körpers, welcher an der Hervorbringung einer Bewegung direkten und aktiven Antheil zu nehmen vermag, andauernde elektrische Ströme stattfinden, und daß diese Ströme durch den Akt der Bewegung influencirt, theilweise sogar unterbrochen werden. Wir werden bei dem Bau der thierischen Organe genauer angeben, wie die elektrischen Ströme mit den Geweben des thierischen Körpers zusammenhängen. Aber schon hier mußte herausgehoben werden, daß alle Theile, welche die thierische Bewegung hervorzurufen oder auszuführen im Stande sind, an sich schon von elektrischen Strömen durchzogen werden, und daß diese Ströme mit der Thätigkeit jener Theile bald zu- bald abnehmen. Wir sind weit entfernt, eine Identität der thierischen Bewegungskraft und der elektrischen Kraft behaupten zu wollen; aber in einer besonders innigen Beziehung scheinen doch beide Kräfte mit einander zu stehen.

Digitized by Google

Jetzt kann auch erst verständlich sein, was wir oben bemerkten, daß nämlich nicht ein Verbrennungsproceß, sondern ein elektrisches Licht dem Leuchten vieler Seethiere zu Grunde liegt, und es läßt sich begreifen, wie dieses Leuchten durch Bewegungen der Thiere bedeutend gesteigert werden kann, wie daher leuchtende Furchen die Stelle bezeichnen, wo ein Schiff die See aus der Stelle gedrängt und mikroskopische Thiere zu rascheren Bewegungen bestimmt hat.

Sofern die elektrischen Ströme im Innern des Thieres durch Bewegungen verändert werden, stehen sie vielfach unter dem indirekten Einflusse der Willkühr des Thieres. Aber dieser Einfluß scheint bei den elektrischen Fischen ein direkter zu sein. Wie andere Thiere beliebige Bewegungsorgane anstrengen, so setzt der elektrische Aal, der Zitterwels oder Zitterröchen sein elektrisches Organ willkührlich in Thätigkeit. Die Ströme, welche in Bewegungsorganen der Thiere überhaupt jetzt nachgewiesen sind, können wegen ihrer Schwäche nur mit sehr scharfen und empfindlichen Instrumenten beobachtet werden. Aber der Effekt des elektrischen Organes der Fische ist so bedeutend, daß starke elektrische Schläge von ihm ausgehen, daß elektrische Funken und chemische Zersetzungen durch seine Thätigkeit hervorgebracht werden können. Die elektrischen Organe der Fische standen längere Zeit ganz allein; jetzt sind sie durch Dubois-Reymond's Entdeckungen mit allen Bewegungsorganen der Thiere in einen näheren Zusammenhang gesetzt worden.

Wenn die Bewegungen der Thiere auf die elektrischen Strömungen ihres Körpers einen bestimmten Einfluß ausüben, so sind umgekehrt äußere elektrische Ströme im Stande, die thierische Bewegungskraft in Thätigkeit zu versetzen. Elektrische Schläge, sie mögen durch die Elektrisirmaschine oder durch galvanische Apparate hervorgebracht sein, erregen Zuckungen, wenn sie die Nerven oder Muskel der Thiere treffen. Die Beziehungen zwischen Elektricität und Bewegungskraft sind also gegenseitig; sie begründen kein Einerlei, aber doch einen hohen Grad von

Digitized by Google

Verwandtschaft zwischen beiden Agentien. Und hiemit knüpfen wir wieder an die gleichlautenden, aber kürzeren Bemerkungen an, welche wir in der allgemeinen Betrachtung des Organismus (II. 21) über denselben Gegenstand beigebracht haben.

Alle Bewegungsweisen der Körper, Wärme, Licht, Schall, Elektricität und mechanische Bewegung, bringen an der Oberfläche des thierischen Körpers bestimmte Sinneseindrücke hervor und erregen Sinnesempfindungen im thierischen Bewußtsein. Aber das Thier vermag nicht, alle jene Bewegungsweisen selbst direkt hervorzurufen und durch sie auf die umgebende Schöpfung zu wirken. Obenan steht hier die mechanische Bewegung. Es ist der Willenseinfluß des Thieres genügend, um die äußeren Theile des Körpers in Bewegung zu setzen, und wir sind daher berechtigt, diese mechanische Bewegung ebensogut, als den Stoffwechsel, für einen unmittelbaren Effekt des thierischen Lebens zu halten. Die Bewegungen, welche das Thier ausführt, bleiben auch nicht ohne Einfluß auf seine Umgebung; das Thier verändert durch sie die Lage der Körper, die in den Bereich seiner Thätigkeit kommen. Vorzüglich aber bemächtigt sich das Thier durch diese Bewegungen der Nahrungsmittel, welche es zu seinem Leben bedarf. Es verhält sich ja zu den umgebenden Körpern schon in stofflicher Beziehung nicht passiv; es verändert die chemische Beschaffenheit der Stoffe, die es als Nahrung aufnehmen will. Aber noch viel mächtiger greift es durch seine mechanischen Bewegungen über die Gränzen seines Körpers hinaus, theils um Schädliches von sich abzuhalten, theils um Nützliches zu erfassen. Und diese Bewegungen werden nicht blos mit Willführ ausgeführt; sondern auch die unwillkührlichen Bewegungen dienen auf verschiedene Weise theils zur Fortschaffung theils zur Aufnahme äußerer Stoffe.

Nach der mechanischen Bewegung folgen unmittelbar die elektrischen Strömungen, welche mit jener im genausten Zusammenhange stehen. Offenbar entspringen diese Strömungen unmittelbar aus der Anordnung der innern, die Bewegung ver-

Digitized by Google

mittelnden Theile des Thierkörpers. Sie scheinen weniger in Bezug auf ihre Entstehung, als in Bezug auf ihre Abänderung unter dem Einflusse des Willens zu stehen, und ihre höchste Energie erreichen sie in den elektrischen Fischen; nur in diesen vermögen sie auch nach außen bedeutende Wirkungen hervorzubringen.

Wärme, Licht und Schall werden nur auf mittelbare Weise von den Thieren hervorgebracht, die erste durch den Stoffwechsel und vorzüglich die Athmung, das zweite theils durch oberflächliche chemische Processe theils durch elektrische Vorgänge, der dritte endlich durch mechanische Bewegungen, welche meist gespannte Membranen in Schwingung versetzen. Diese feineren Schwingungen ergeben sich also nicht geradezu aus der innern Anordnung des thierischen Körpers; darum wirkt er aber doch mittelbar durch Wärme, Licht und Schall auf die umgebende Schöpfung ein.

Auf solche Weise nimmt das Thier sowohl äußere Stoffe als äußere physikalische Eindrücke auf; andererseits aber werden von ihm Stoffe ausgeschieden und physikalische Eindrücke auf seine Umgebung hervorgebracht. Beide Richtungen der Thätigkeit, die nach innen, wie die nach außen gekehrte fanden sich auch bei der Pflanze. Aber diese trat nicht als ein geschlossenes Ganzes der umgebenden Schöpfung entgegen; jede einzelne Zelle bewahrte hier den Gegensatz von innen und außen. Das Thier schließt sich in dieser Beziehung ab; es hat Ein Inneres, welches Stoffe und Eindrücke in sich aufnimmt, und Eine Oberfläche, an welcher die Stoffausscheidung und die äußere Bewegung geschieht. Mit dieser größeren Concentrirung wird das ganze Leben des Thieres freier und kräftiger, und es tritt ebendamit die mechanische Bewegung in den Vordergrund, welche zu ihren Effekten zugleich eine größere Ungebundenheit und eine bestimmtere Sammlung der Kraft bedarf, als der langsame, an allen Orten wirkende Stoffwechsel. Dieses physikalische und mechanische Moment beherrscht also den Thierkörper, während in der Pflanze die

Digitized by Google

chemische Seite überwiegt. Zusammengesetzte Apparate treten im Thiere auf, welche theils als Sinnesorgane theils als Bewegungsorgane wirken, deren Einrichtung aber mit den Gesetzen der allgemeinen Physik aufs Beste harmonirt. Diese Apparate bringen in der äußeren Gestalt der Thiere die größte Mannigfaltigkeit hervor.

Das Auszeichnende des Thieres ist also zugleich die größere Sammlung nach innen und die reichere Gliederung nach außen. Wie aber diese beiden Beziehungen sich in der Gestalt der Thiere verschiedenartig ausprägen, kann jetzt noch nicht untersucht werden. Ehe von den Organen gehandelt wird, muß von jenen Formelementen die Rede sein, welche alle Organe zusammensetzen. Wie der reiche Bau der Pflanze aus einer kleinen Zahl von Geweben besteht, die sich verschiedenartig combiniren, so liegen auch den Organen der Thiere wenige, bestimmt ausgeprägte Gewebe zu Grund. Auch in den Gestalten der Thiere wird also mit einem einfachen Material das Größte geleistet; Einfachheit und Mannigfaltigkeit treten auch hier in der innigsten Verbindung auf.

Wir gehen von dieser Uebersicht der Thätigkeiten zu den Geweben über, welche die fundamentalen thierischen Thätigkeiten ausführen. Dann soll von den zusammengesetzten Organen, von den Apparaten der Thiere und von ihrer Bedeutung für die einzelnen Funktionen die Rede sein. Nachdem auf diese Weise der Zusammenhang der Thätigkeiten mit dem innern Bau und der äußern Form der Thiere erörtert ist, wird es möglich sein, die Hauptgruppen des Thierreiches vorzuführen. Zum Schlusse aber hoffen wir, die Grundgesetze für dieses Reich schärfer, als für das Pflanzenreich zusammenfassen zu können; denn die ganze Thierwelt weist auf ein bestimmtes Ziel, auf den Menschen hin, von welchem sie Maaß und Sinn erhält. Am Schlusse erst kann auch die innere Harmonie der thierischen Thätigkeiten erörtert und jener Mißklang ausgeglichen werden, welcher für manche Beobachter aus dem unruhigen, gewalt-

Digitized by Google

samen Treiben der Thiere entspringt. Auch den Thieren ist, nicht weniger als den Pflanzen, ein göttliches Lebensgesetz einprägt.

---

2) **Die Gewebe der Thiere.** Wenn man die Infusorien oder, wie man sie besser bezeichnet, die Protozoen näher untersucht, so sind an ihnen weder Gewebe noch Organe zu erkennen. Es fehlen ihnen also die beiden Stufen der Zusammensetzung, welche der Körper der höheren Thiere innerlich und äußerlich erkennen läßt. Sehr viele derselben stellen nichts dar, als Zellen mit durchsichtigem, gallertartigem Inhalte, in dessen Mitte ein dunklerer Kern erkannt wird. Und doch fehlen diesen einfachsten Protozoen die fundamentalen Thätigkeiten keineswegs. Mit ihrer Oberfläche nehmen sie flüssige Nahrung auf und scheiden verbrauchte Stoffe aus. Ihre weiche Substanz ist überdieß ohne Zweifel für den Eindruck des Lichtes, der Wärme und des äußeren Stoßes empfänglich und vermag willkührliche Bewegungen auszuführen. Hier wiederholt es sich aufs klarste, was wir schon in der Uebersicht des Pflanzenreiches bemerkten: die organischen Funktionen sind nicht wesentlich an Gewebe oder Organe, sondern nur im Allgemeinen an die organische Zelle gebunden.

Im Innern der Protozoen scheidet sich zuerst die festere Substanz von einer Flüssigkeit, welche offenbar zur Ernährung jener Substanz dient. Und wie im Innern der einzelnen Pflanzenzelle (II. 111), so ist auch schon in den einfachsten, einzelligen Thieren diese Ernährungsflüssigkeit in Bewegung. Aber hier zeigt sich sogleich der Gegensatz von Pflanze und Thier. Dort treibt eine unbekannte Kraft die Säfte vom Kerne zur Peripherie und von der Peripherie wieder zum Kerne zurück. Aber im Thiere wird der Saft von Anfang an durch ein eigenes Bewegungsorgan umgetrieben. Das Hühnchen im Ei läßt sehr bald ein pulsirendes Herz erkennen, und ebenso finden sich schon bei vielen Protozoen pulsirende Hohlräume, welche

Digitized by Google

eine farblose Flüssigkeit abwechselnd aufnehmen und ausstoßen. So tritt im Innern der Thiere eine allgemeine Nahrungsflüssigkeit zugleich mit der Wandung auf, welche sie einschließt und bewegt; was hier vorgebildet ist, erscheint bei den höchsten Thieren als Blut und als Herz oder Gefäßsystem.

Während dieses im Innern geschieht, entwickeln sich an der Oberfläche Organe, welche zur äußeren Bewegung dienen. Aber es sind noch nicht Muskel, wie bei den höheren Thieren, sondern die Wimper oder Cilien, wie sie auch den Sporen und Spiralfäden der niedersten Pflanzen zukommen (II. 132). Bei den Protozoen sind die Wimper viel stärker entwickelt, als bei den früher genannten Kryptogamen. Sie überziehen öfters die ganze Oberfläche der Thiere; in anderen Fällen stehen sie als einfache oder doppelte, peitschenförmige Fäden am Vorderende des Körpers. Sie dienen offenbar durch ihre schwingenden Bewegungen der Willkühr der Protozoen, und zwar theils für die Fortbewegung des Körpers, theils für die Zuführung der Nahrungsstoffe, theils für den Wechsel des Wassers, welcher zur Athmung dieser Thiere nothwendig ist. Ihre Anordnung verhält sich sehr verschieden; aber besonders häufig stellen sie sich um die Mundöffnung jener Protozoen herum, bei denen eine Andeutung von Nahrungskanal sich findet. Außer diesen Wimpern bleibt indeß auch noch die unterschiedlose, gallertartige Körpermasse selbst kontraktil, und nur in dem Stiele einiger Vorticellinen tritt das konfraktile Geweb der höheren Thiere, der Muskel ausnahmsweise hervor.

So ist in den Protozoen schon eine kleine Anzahl von Formelementen ausgebildet, nämlich die kontraktilen Gewebe und die allgemeine Nahrungsflüssigkeit. Jene kehren sich nach außen; diese vermittelt die innere Concentrirung der chemischen Thätigkeit; beide wiederholen sich aber in allen höheren Thierklassen neben den Formelementen, welche zu ihnen weiter hinzukommen. Aber ehe wir zu diesen fortschreiten, muß noch von einer eigenthümlichen Hautbedeckung, von dem äußern Skelete der Pro-

tozoen die Rede sein. Manche dieser Thiere stecken nämlich in festen Gehäusen, die als Absonderungen der äußeren Oberfläche betrachtet werden müssen, und theils nur aus hornartiger Substanz, theils überdieß aus Kieselsäure oder Kalksalzen bestehen. Diese Schale ist besonders ausgebildet bei den vielkammerigen Protozoen, deren Gehäuse fast allein die mächtigen Ablagerungen der weißen Kreide bilden (I. 457). Mit diesen Schalen ist aber die erste Anlage des Skeletes überhaupt gegeben. Wie hier die festen Theile sich der Gestalt des Thieres anpassen und den weichen Körper einhüllen, so tritt das Skelet auch in den übrigen Thiergruppen theils als ein fester Ausdruck der allgemeinen Form, theils als die Unterlage und der Schutz der weicheren Organe überall auf. Das Skelet ist schon durch seine organischen Bestandtheile fester, als andere Organe; aber außerdem zieht es aus der Säftemasse vorzüglich Kalkerde und Kieselsäure an; und diese sind ja die mineralischen Substanzen, welche in der Erdrinde, wie im organischen Reiche die festesten Theile auszeichnen.

Es fehlen den Protozoen noch insbesondere zweierlei Formelemente, welche mit den hauptsächlichen Thätigkeiten bei den übrigen Thieren genau zusammenhängen, nämlich das Nerven- und das Drüsengewebe. Jene einfachsten Thiere besitzen wohl Gewebe, welche der äußern Bewegung dienen; aber die Nerven, von welchen in den höheren Klassen die Motive zur Bewegung ausgehen, sind in ihnen nicht aufgefunden worden. Sie besitzen wohl die erste Anlage einer allgemeinen Nahrungsflüssigkeit; aber es fehlen ihnen die Drüsen, welche abgenützte Stoffe aus dem Blute ausscheiden. Auch die Polypen, die zunächst an die Protozoen angränzen, lassen in dieser Beziehung noch keinen Fortschritt erkennen. Erst unter den Quallen, einer den Polypen verwandten Familie kommen Nervenknoten mit ausstrahlenden zarten Nervenfäden vor. Drüsige Organe endlich treten zuerst unter den Stachelhäutern auf, als deren Repräsentant hier der Seestern angeführt werden mag.

Digitized by Google

Jetzt sind für alle wesentlichen Thätigkeiten des thierischen Körpers die entsprechenden Formelemente aus der ungeschiedenen Substanz der Protozoen herausgetreten. Die allgemeine Nahrungsflüssigkeit bildet den Mittelpunkt des Stoffwechsels, das Nervengewebe den Mittelpunkt der physikalischen Thätigkeiten. Die Ausscheidung der Absonderungsstoffe geschieht durch die Drüsen, die äußere Bewegung durch die Muskel und schwingenden Cilien. Für die Aufnahme äußerer Stoffe oder Eindrücke werden keine eigenen Gewebe gebildet. Wohl aber scheiden sich bei den höheren Thieren noch Formelemente aus, welche nicht sowohl besonderen Seiten der thierischen Thätigkeit entsprechen, als zur Verbindung und Einhüllung der Organe dienen. Den inneren Zusammenhalt der verschiedenartigen Organe vermittelt das Bindegewebe; der Ueberzug über alle Oberflächen des Körpers wird durch das Gewebe der Oberhäute oder Epithelien hergestellt. Und hiemit haben wir eigentlich alle wesentlichen Formelemente des Thierkörpers erschöpft; unter die genannten Grundformen lassen sich alle einzelnen Fälle ohne zu große Schwierigkeit unterordnen.

Wir versuchen jetzt die Schilderung der einzelnen Formelemente und beginnen mit dem Blute, als der allgemeinen Nahrungsflüssigkeit, aus welcher alle festen Gewebe des Körpers entstehen. Das Blut verhält sich indeß nicht blos als die Flüssigkeit, welche den Bildungsstoff für alle Organe in sich schließt; sondern es ist selbst durch eigenthümliche, feste Gewebtheile ausgezeichnet. Allerdings muß man vor Allem den flüssigen Theil, das Plasma des Blutes unterscheiden, und erst nach diesem kommen die festen Blutkörperchen; aber die letzteren sind so charakteristisch, daß sie nicht nur für die Blutflüssigkeit überhaupt, sondern auch für das Blut der einzelnen Thiere als charakteristisches Erkennungszeichen dienen.

Die Blutkörperchen können nur mit Hilfe des Mikroskops erkannt werden; beim Menschen z. B. beträgt der Durchmesser ihrer Fläche nur $\frac{1}{300}$ Linie; bei Proteus, einem nackten Reptil,

Digitized by Google

steigt der größte Durchmesser bis zu $\frac{1}{20}$ Linie. Darum reicht auch die genauere Kenntniß der Blutkörperchen nicht viel über zwei Jahrzehnte zurück und wir sind weit entfernt, ihre Natur und Bestimmung genau zu kennen. Bei der Untersuchung jener feinen Blutströmchen, welche die Schwimmhaut der Frösche durchziehen, kann die Fortbewegung des Blutes nur an dem Fortrücken der Körperchen erkannt werden, welche in ihm schwimmen. So kam es, daß man die Blutkörperchen auch in eine ursächliche Beziehung zur Blutbewegung setzte; es sollte den Körperchen eine eigenthümliche Propulsivkraft zukommen. Diese Ansichten sind aber jetzt völlig aufgegeben, und man begnügt sich allgemein mit der Annahme, daß die Blutkörperchen in der Blutflüssigkeit ebenso schwimmen, wie ein Stück Holz in dem Wasser eines Baches. Wir müssen die Blutkörperchen als Zellen betrachten, die von den Blutströmen in allen Organen umhergetragen werden, um durch die Stoffe, welche sie enthalten, überall die wichtigsten Processe einzuleiten und zu vermitteln. Jedes Blutkörperchen stellt nämlich eine geschlossene, mit Flüssigkeit erfüllte Blase dar.

Trotzdem, daß das Blut einem Processe dient, welcher unter allen organischen Processen die weiteste Verbreitung und die größte Gleichartigkeit zeigt, so prägt sich doch in den festen Formelementen des Blutes die Eigenthümlichkeit der einzelnen Gruppen oder Species auf eine höchst merkwürdige Weise aus. Bei den wirbellosen Thieren, welche die Insekten, Spinnen und Krebse, die Weichthiere und Würmer, die Stachelhäuter, Quallen und Polypen als hauptsächliche Abtheilungen umfassen, bieten die Blutkörperchen gleichsam unvollendete Formen dar (C). Ihre Gestalt ist im Allgemeinen plattkuglig, aber in verschiedener Weise unregelmäßig, ihre Oberfläche nicht durchaus glatt, sondern von feinen Rauhigkeiten, von körnerartigen Hervorragungen unterbrochen. Erst die Blut-

körperchen der Wirbelthiere, der Fische, Reptilien (B), Vögel und Säugethiere (A), erscheinen als fertige Gebilde. Sie sind im Allgemeinen scharf umschrieben, von ebener, aber matter Oberfläche, biegsam und aus Verkrümmungen wieder zu ihrer vorherigen Gestalt zurückkehrend. Sie unterscheiden sich wieder in ovale Körperchen mit kernartig hervorgetriebener Mitte (B) und in kreisförmige, biconcave Körperchen (A). Mit sehr wenigen Ausnahmen zeichnen jene die eierlegenden Fische, Reptilien und Vögel, diese die lebendiggebärenden Säugethiere aus. Diese Unterschiede erschöpfen aber noch lange nicht die Mannigfaltigkeit der Blutkörperchen; bei jeder Thierspecies sind sie wieder wenigstens durch ihre Größe eigenthümlich.

Den Blutkörperchen steht das Plasma gegenüber. So lange dieses in den Blutgefäßen sich bewegt, erscheint es als eine klare Flüssigkeit ohne feste Theilchen. Aber sobald es die Gefäße des Körpers verläßt, sei es nun, daß es durch die Gefäßwandungen durchschwitzt, oder daß Blut aus geöffneten Gefäßen austritt, so fällt aus dem Plasma der eine seiner Bestandtheile, nämlich das Fibrin, in fester Gestalt heraus. Diese freie Fibringerinnung bewirkt, daß sich im gelassenen Blute ein sogenannter Blutkuchen bildet, welcher aus feinen Fibrinfasern besteht und überdieß den größten Theil der Blutkörperchen in seinen Maschen eingeschlossen hält. Aber an einer genügenden Erklärung dieses Phänomenes fehlt es durchaus. Es mag daher die Bemerkung genügen, daß das Fibrin oder der Faserstoff des Blutes innerhalb der Gefäße gelöst ist, mit dem Austreten des Blutes aber seinen lösbaren Zustand verläßt und in den unlöslichen übergeht. Es scheint, daß dieses Verhalten dem Blute aller Thiere gemeinsam ist; nur dürfte die Menge des gerinnenden Faserstoffes bei allen wirbellosen Thieren sehr unbedeutend sein. Wenn man vom Blute die Blutkörperchen und das Fibrin abzieht, so bleibt eine Flüssigkeit, das Serum, übrig. Neben viel Wasser enthält es vorzüglich Albumin und mineralische Stoffe.

Digitized by Google

Nach dieser mechanischen Scheidung des Blutes in seine Bestandtheile wäre es eigentlich nöthig, die chemische Beschaffenheit der einzelnen Bestandtheile und vorzüglich des Plasma's und der Blutkörperchen anzugeben. Aber eine solche chemische Charakteristik ist nur theilweise möglich. Wir führen daher die Bestandtheile des Blutes mehr im Allgemeinen und nach den Untersuchungen des menschlichen Blutes an. Die Hauptmasse des Blutes besteht aus Wasser; das Plasma für sich enthält 90 Proc.; in den Blutkörperchen finden sich nur 68 Proc. Von den festen Bestandtheilen, die im Wasser aufgelöst sind, nimmt das Albumin die erste Stelle ein; es beträgt fast 8 Proc. des Plasma's. Nach ihm folgt Fibrin und Fett; jenes wird im Plasma zu $^4/_{10}$, dieses nur zu $^1/_{10}$ Proc. angegeben. Von mineralischen Stoffen endlich, welche zusammen nicht ganz 1 Proc. betragen, gehören hieher vorzüglich Chlornatrium oder Kochsalz, dann schwefelsaure Salze des Kali's und Natrons und phosphorsaure Salze des Natrons, der Kalkerde und Talkerde. Wenn man diese Uebersicht der Blutbestandtheile betrachtet, so findet sich alles, was zur Erneuerung der Organe nothwendig ist; Albumin, Fibrin und Fett dienen in dieser Beziehung als die organischen Erneuerungsmittel; die mineralischen Substanzen des Blutes aber haben wir schon früher als Bestandtheile der organischen Säfte überhaupt kennen gelernt.

So weit man über die Zusammensetzung von Albumin und Fibrin bis jetzt unterrichtet ist, so scheint das letztere sauerstoffreicher als das erstere zu sein. Da nun überdieß die festen, stickstoffhaltigen Gewebe des Thierkörpers meist noch größere Mengen Sauerstoff enthalten, so liegt die Vermuthung nahe, das Albumin gehe innerhalb der Blutmasse allmählig durch Sauerstoffaufnahme in Fibrin über, und das letztere liefere vorzüglich die Substanz zur Erneuerung der Gewebe. Mit dieser Annahme stimmt die Thatsache überein, daß bei Krankheiten, welche, wie das Nervenfieber, rasch die Säftemischung verändern und die Stofferneuerung im ganzen Körper unterbrechen, die

Digitized by Google

Menge des gerinnenden Fibrins auffallend abnimmt. So würde also das Albumin nur als eine Vorstufe des Fibrins anzusehen sein, und wenn man gleich nicht ganz läugnen kann, daß jenes auch als solches an der Erneuerung einiger Gewebe Theil zu nehmen vermag, so fiele doch die letztere Aufgabe dem Fibrin vorzüglich anheim.

Wir kennen aber innerhalb des Blutes selbst zwei weitere Umwandlungen dieser eiweißartigen Stoffe des Blutes; sie sind Bestandtheile der Blutkörperchen. Wie nämlich das Blut sich zu den umgebenden Geweben als Nahrungsflüssigkeit verhält, so erneuert es auch die festen Formelemente, welche seiner eigenen Masse angehören. Das Fibrin oder Albumin wird hier zu der Membran der Blutkörperchen; mit geringer Veränderung wird es zu Globulin. Und außerdem verwandeln sich jene Stoffe in das Hämatin, welches den Blutkörperchen der höheren Thiere als ihr Inhalt eine rothe Farbe ertheilt. Dieser Farbstoff ist indeß nur bei den Wirbelthieren streng an die Blutkörperchen gebunden; wenn das Blut der Wirbellosen gefärbt ist, so findet sich der Farbstoff in dem Plasma aufgelöst. Ueberdieß aber fehlt der Farbstoff dem Blute der wirbellosen Thiere in der Mehrzahl der Fälle, und er nimmt, wenn er vorhanden ist, ebenso oft eine gelbe, grüne, blaßviolette oder bläuliche, als eine rothe Färbung an. Auch in dieser Beziehung erscheint das Blut der Wirbellosen weniger ausgebildet; mit der vollen Entwicklung der Blutkörperchen tritt bei den Wirbelthieren eine Bindung des Farbstoffes an jene Körperchen und eine bestimmte, nie wechselnde Färbung des Hämatins ein. Wir haben endlich noch den Eisengehalt des Hämatins der Wirbelthiere zu erwähnen. Ihm steht in auffallender Weise der Kupfergehalt gegenüber, welchen Bibra in dem Blute einiger Weichthiere, bei völliger Abwesenheit des Eisens, nachgewiesen hat.

Wenn wir das Blut auf der einen Seite als die Flüssigkeit betrachten müssen, in welcher alles Bildungsmaterial des

thierischen Körpers aufgelöst enthalten ist, so bieten also die Blutkörperchen auf der andern Seite schon ein Beispiel von verarbeitetem Bildungsmateriale dar. Schon aus diesem Grunde wird es sehr wahrscheinlich, daß die Bedeutung der Blutkörperchen eine andere ist, als die des Plasma's, daß insbesondere die Blutkörperchen nicht, wie man früher glaubte, direkt zur Ernährung der Organe verwendet werden. Die Blutkörperchen dienen vielmehr wahrscheinlich als Träger für die gasförmigen, im Athmungsprocesse aufgenommenen Stoffe. Der Sauerstoff nämlich, welcher an der Oberfläche des Körpers mit der Blutflüssigkeit in Berührung kommt und bei den höheren Thieren in die Lungen aufgenommen wird, geht nicht an diesen Berührungsstellen sogleich eine Verbindung mit dem Kohlenstoffe der thierischen Substanz ein; sondern er wird durch das Blut zu allen Geweben des Körpers geführt. Das Blut nimmt den Sauerstoff nach der allgemeinen Regel auf, daß tropfbare Flüssigkeiten Gase absorbiren. Aber die Absorptionsfähigkeit des Plasma's selbst ist unbedeutend; viel mehr Sauerstoffgas geht offenbar in die Blutkörperchen über. Auch die Blutkörperchen gehen hiebei fast keine chemische Verbindung mit dem Sauerstoffe ein; sie nehmen vielmehr den größten Theil des eingeathmeten Sauerstoffs nach Art poröser Körper durch Absorption in sich auf; daher läßt sich auch das Sauerstoffgas, welches in der Blutmasse enthalten ist, schon durch die Luftpumpe fast ganz aus dem Blute austreiben. Erwägt man diese Thatsachen, so ist Zweierlei einleuchtend: erstens, daß die Blutkörperchen den eingeathmeten Sauerstoff zu allen Körperorganen tragen, und zweitens, daß sie den Sauerstoff, welchen sie nicht chemisch, sondern nur mechanisch gebunden halten, aufs leichteste an alle angränzenden Organe abgeben.

Wir haben das Blut von Anfang an als allgemeine Nahrungsflüssigkeit bezeichnet; jetzt wird es klar sein, daß das Blut diese Bezeichnung im vollen Maaße verdient. Es liefert den Organen nicht nur die Stoffe, aus welchen sie ihre Substanz

Digitized by Google

immer erneuern können; es führt ihnen auch den Sauerstoff zu, welcher die Thätigkeiten aller Organe und insbesonders des Nervensystemes anregt. Diese beiden Seiten des Ernährungsprocesses haben wir ja schon beim Leben der Pflanze hervorgehoben (II. 95). Was sich aber in der Pflanze zersplittert und an viele Zellen vertheilt, das wird beim Thiere durch die Eine Blutflüssigkeit ausgeführt. Die beiden Seiten, nach welchen das Blut die Existenz der Organe unterstützt, vertheilen sich so, daß die eine Seite dem Plasma, die andere den Blutkörperchen zufällt.

So erfüllt das Blut in den Organen seine doppelte Bedeutung als Ernährungsflüssigkeit. Aber bei der Wichtigkeit, welche die Absonderungen im Thiere erhalten, übernimmt es zugleich die Ueberführung aller verbrauchten und zersetzten Stoffe aus den Organen zu den absondernden Drüsen. Man muß nothwendig annehmen, daß ein Theil der Blutbestandtheile nichts als Zersetzungsprodukte der organischen Masse darstellt. Aber die organische Chemie hat erst wenige Thatsachen geliefert, welche über den Gang jener Zersetzung Licht verbreiten könnten. Bis jetzt sind im normalen Blute des Menschen nur zwei Harnbestandtheile, der Harnstoff und die Harnsäure nachgewiesen worden. Sie beweisen, daß die Umwandlung und Ausscheidung der thierischen Substanz nicht erst in den Drüsen, sondern schon in der Blutmasse selbst ihren Anfang nimmt. Unter die räthselhaften Stoffe, welche wahrscheinlich der organischen Zersetzung ihren Ursprung verdanken, müssen außerdem noch die sogenannten Extraktivstoffe des Blutes gerechnet werden.

Genauer kennen wir das Resultat der Einwirkung des Sauerstoffes auf die thierischen Gewebe. Wo dieses Element vom Blute hingetragen wird, leitet es chemische Processe ein. Vor allem verändert es die Farbe der Blutkörperchen selbst; es macht das Hämatin auch in Lösungen heller, scharlachröther. Von dieser Einwirkung des Sauerstoffs auf die Blutkörperchen hängt vorzüglich der äußere Unterschied zwischen geathmetem und

Digitized by Google

nichtgeathmetem Blute ab. Das letztere, venöse, ist viel dunkler; das erstere, arterielle, ist heller roth, und zwar nimmt das Blut diese Farbe in dem Augenblicke an, in welchem es durch die Athmungsorgane durchtritt. Man weiß bis jetzt noch nicht genau, auf welche Art die Blutkörperchen durch den Sauerstoff verändert werden; so viel ist aber wahrscheinlich, daß ihre Veränderung nicht blos auf einer mechanischen, sondern zugleich auf einer chemischen Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffgases beruht. Die arteriellen Blutkörperchen tragen den Sauerstoff zu allen Geweben; und wo dieser hinkommt, verbindet er sich mit organischem Kohlenstoffe zu Kohlensäure. Auch diese Kohlensäure wird von den Blutkörperchen absorbirt und bis zu der Oberfläche weiter geführt, an welcher die Athmung geschieht. Es ist dieselbe Stelle, an welcher Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure ausgehaucht wird; aber zwischen diesen beiden Endpunkten liegen die Processe in der Mitte, welche der Sauerstoff in allen Körperorganen einleitet, und deren hauptsächliches Resultat die Bildung von Kohlensäure ist.

Man darf nicht glauben, daß im arteriellen Blute nur Sauerstoffgas, im venösen Blute nur kohlensaures Gas enthalten sei. Beide Blutarten enthalten vielmehr beide Gase neben einander, nur daß im arteriellen Blute sich mehr Sauerstoff als im venösen findet. Ueberhaupt darf man arterielles und venöses Blut nicht so schroff von einander scheiden. Die Einwirkung des Sauerstoffes auf die Gewebe geschieht allerdings vorzüglich an gewissen Stellen, nämlich in den feinsten Strömchen der Blutbahn; aber außerdem muß überall, wo der Sauerstoff hingelangt, eine schwächere Einwirkung desselben angenommen werden. Daher geht das arterielle Blut nicht plötzlich in venöses über. Was fernerhin die Substanzen betrifft, deren Kohlenstoff vorzüglich zur Kohlensäurebildung verwendet wird, so nimmt hier das Fett des Blutes die erste Stelle ein. Es ist unter den Respirationsmitteln des thierischen Körpers das vornehmste, und das arterielle Blut enthält daher auch weniger Fett

Digitized by Google

als das venöse. Die Blutkörperchen zeigen einen größeren Fettgehalt als das Plasma, und dieser Vorzug stimmt ganz mit der bedeutenden Rolle überein, welche sie im Athmungsproceß übernehmen.

In solcher Weise vermittelt das Blut die beiden Seiten des thierischen Stoffwechsels, die Aneignung und die Ausscheidung der Stoffe. Jeder seiner beiden Theile, Blutkörperchen und Plasma, übernimmt hiebei eine besondere Rolle; aber beide sind darum nicht von einander unabhängig, gehen nicht unvermittelt neben einander her; sondern zwischen den Blutkörperchen und dem Plasma besteht selbst wieder eine ununterbrochene Wechselwirkung. Es scheint insbesondere, daß die Blutkörperchen, wie alles Feste des thierischen Körpers, aus der Blutflüssigkeit entstehen und bei ihrem Untergange wieder in diese zurückkehren. Dient nun das ganze Blut als der Mittelpunkt des thierischen Stoffwechsels, so muß natürlich seine Wirksamkeit auch den allgemeinen Gesetzen des chemischen Processes folgen, und eines der wichtigsten dieser Gesetze ist, daß die chemische Verwandtschaft nur bei unmittelbarer Berührung der Körper, nicht auf Entfernungen wirkt. Das Blut muß also an alle die Orte selbst gelangen, es muß alle die Gewebe selbst bespülen, an welche es etwas abgeben, oder aus welchen es Stoffe aufnehmen soll. Die Bewegung des Blutes ergibt sich also aus der Bedeutung dieser Flüssigkeit selbst; sie strömt an allen Organen vorbei, mit welchen sie in chemische Wechselwirkung tritt. Die Apparate und Kräfte, durch welche das Blut bewegt wird, können erst später zur Sprache kommen.

Wir haben erwähnt, daß zur Aufnahme äußerer Stoffe ins Blut es keiner besonderen Gewebe bedarf. Die Flüssigkeiten, welche das Blut aufnimmt, schwitzen einfach durch die Gefäßwandungen durch, welche den Blutströmen ihre Begränzung und feste Richtung geben. Aber in den höheren Thieren, in den Fischen, Reptilien, Vögeln und Säugthieren, unterscheidet man innerhalb des Gefäßsystems selbst zwei Abtheilungen, von

welchen nur die eine völlig ausgebildetes Blut enthält. Die andere Abtheilung führt eine farblose Flüssigkeit, welche theils aus den verschiedenen Körperorganen theils von der Oberfläche des Nahrungskanales aufgenommen wird, und im erstern Fall Lymphe, im zweiten Chylus heißt. Sie ist, gleich dem Blute, alkalisch, und besteht, wie dieses, aus zwei Bestandtheilen, aus festen Körperchen und einem fibrinhaltigen Plasma. Jene festen Elemente sind ungefärbt und gleichen in jeder Beziehung den farblosen, höckrigen Blutkörperchen der wirbellosen Thiere. Der Chylus zeichnet sich überdieß durch einen bedeutenden Fettgehalt aus, der vom Fette der Nahrung herrührt. Lymphe und Chylus müssen als Blut angesehen werden, welches sich erst auf dem Wege der Ausbildung befindet. Ihr Plasma wird zu Blutplasma, und ihre Körperchen verwandeln sich ohne allen Zweifel in rothe Blutkörperchen. Daher bewegen sich jene Flüssigkeiten nicht in einem eigenen, abgeschlossenen Gefäßsysteme; sondern sie strömen immer nach längerem oder kürzerem Laufe in die allgemeine Blutflüssigkeit über.

Die Ausscheidung der abgenützten Stoffe, welche das Blut aus den Geweben des Körpers zurückgenommen hat, geschieht nicht geradezu, wie die Aufnahme äußerer Stoffe; sondern zwischen die Blutströme und die äußere Körperoberfläche treten Drüsen in die Mitte, um die passende Ausscheidung zu bewirken. Diese Drüsen bereiten wahrscheinlich nicht die einzelnen Auswurfsstoffe. Denn alles spricht dafür, daß die hauptsächlichen Bestandtheile der Absonderungen schon innerhalb der Blutmasse selbst gebildet werden. Aber die letzte Vollendung der Sekretionsstoffe geschieht doch durch die Drüsen, und überdieß wirken diese anziehend auf die schon gebildeten Auswurfsstoffe des Blutes ein. Wie die Pflanze mineralische Substanzen in wäßriger Lösung aus dem Boden aufsaugt und in ihrem Innern firirt, so zieht eine jede Drüse die ihr angemessenen Bestandtheile aus dem vorüberströmenden Blute an. Die Pflanze sammelt jene Substanzen, und man ist berechtigt, aus dem Vorkom-

Digitized by Google

men einzelner Mineralstoffe im Innern von Gewächsen den Schluß zu ziehen, daß dieselben Stoffe auch im Boden, der die Pflanzen trägt, enthalten seien, wenn es auch wegen ihrer kleinen Menge noch nicht gelungen ist, sie mit unseren chemischen Prüfungsmitteln im Boden nachzuweisen. Auch hierin ist das Verhalten der Drüsen ein analoges. Man weiß schon längere Zeit, daß Harnstoff und Harnsäure den Urin, Gallenfarbstoff und Cholsäure die Galle auszeichnen; aber die Nachweisung von einzelnen dieser Auswurfstoffe im Blute gehört der neuesten Zeit an, und sie ist erst dadurch möglich gemacht worden, daß man die Ueberzeugung gewonnen hat, es müsse die Entstehung der Hauptbestandtheile der Sekretionen schon im Blute beginnen.

Je schärfer charakterisirt das Sekret einer Drüse ist, desto deutlicher zeigt sich in dieser auch das charakteristische Formelement, die Zelle, ausgeprägt. Wir führen in dieser Beziehung namentlich die Leber (A) und die Nieren (B) an. Das eigentliche absondernde Gewebe dieser Drüsen besteht aus mikroskopischen Zellen, in welchen man deutlich den Kern und die Hülle unterscheidet. Durch die Zellen müssen alle Flüssigkeiten durchgehen, um aus dem Blute in die Ausführungsgänge der Drüsen zu gelangen. Bei diesem Durchtritte gelten zunächst die Gesetze der Endosmose (II. 38); sie bewirken, daß jede Zelle aus dem vorüberströmenden Blute diejenigen dünnflüssigen Substanzen aufnimmt, welche von der Hülle der Zelle am leichtesten durchgelassen werden. Außerdem aber erhält hier der Druck der Blutmasse eine besondere Bedeutung; er steigert nicht nur die Masse der durchschwitzenden Flüssigkeiten, sondern er bestimmt zugleich, indem er von hinten wirkt, die Richtung, in welcher die Absonderungsstoffe abfließen. So sind es einfache Zellen, durch welche die Sekretionen aus dem Blute ausgeschieden werden. Hier handelt es sich nicht, wie beim Blute, von der Ausführung einer Funktion, welche sich auf verschiedene, ja auf

Digitized by Google

alle Organe des Körpers bezieht, und deren Formelement daher durch den ganzen Körper durchbewegt werden muß; sondern es handelt sich von chemischen Vorgängen, zu deren Zustandekommen Ein Ort und Eine Zelle hinreicht. Darum wird auch mit der Vergrößerung einer Drüse ihre Thätigkeit nicht mannigfaltiger und gegliederter; sondern es vermehrt sich dabei nur die Zahl der Drüsenzellen, und die Funktion wird blos in quantitativer Beziehung erhöht.

Gegenüber vom Blute verhält sich das Drüsengewebe als ein untergeordnetes Element. Das Blut umfaßt in sich alle Stoffe, die es zu seiner Thätigkeit bedarf; es begreift in sich überdieß noch den Gegensatz von Körperchen und Flüssigkeit. Das Gewebe der Drüsen besteht dagegen aus einfachen Zellen und erhält die Stoffe, welche es sammelt, schon vorbereitet von außen. Die Drüsen stehen daher als ein peripherisches und abhängiges System dem centralen und herrschenden Blutsysteme gegenüber; beide werden durch die chemische Richtung der Thätigkeit unter einander verbunden.

Wie das Blut den Mittelpunkt für alle chemischen Vorgänge des thierischen Körpers darstellt, so verhält sich das Nervengewebe zu den Sinneseindrücken und äußeren Bewegungen der Thiere als centrales System; in ihm laufen alle jene Eindrücke zusammen, und von ihm gehen alle Bewegungsreize aus. Auch im Nervensysteme haben wir zweierlei Elemente, ein kugliges und ein fasriges, zu unterscheiden; aber ihre Bedeutung und ihr gegenseitiges Verhältniß ist eigenthümlich und kann nicht aus dem Verhältnisse der Elemente des Blutsystemes begriffen werden. Abgesehen von dem feineren Baue unterscheidet man in dem Nervensysteme aller Thiere zwei Abtheilungen, nämlich Knoten und Stränge. Die ersteren müssen als die Mittelpunkte angesehen werden, von welchen alle Stränge ausgehen; sie werden im Allgemeinen als Ganglien bezeichnet, und als das größte und kräftigste Ganglion ist das menschliche Gehirn anzusehen. Diesem Unterschiede von Ganglien und Nervensträngen

Digitized by Google

entspricht nicht genau eine Verschiedenheit der feineren Zusammensetzung; denn in beiden Bildungen können sowohl kuglige als fasrige Elemente vorkommen. Aber die überwiegenden Elemente der Ganglien sind doch Kugeln, die überwiegenden Elemente der Nervenstränge Fasern. Wir beginnen mit den letzteren die Schilderung des Nervensystemes.

Wie die Nervenstränge meist durch ihre weiße Farbe sich auszeichnen, so erscheinen auch die Fasern, aus welchen sie bestehen, wasserhell und glänzend. Sie sind cylindrisch und ihr Durchmesser wechselt sehr bedeutend, zwischen $^1/_{100}$ und $^1/_{2000}$ Linie. Wenn man die Fasern in ganz frischem Zustande untersucht (A), so stellen sie gleichförmige Cylinder dar, in welchen man keine weiteren Abtheilungen bemerkt. Aber sobald sie einige Zeit nach dem Tode untersucht oder mit Flüssigkeiten in Berührung gebracht werden, so erleiden sie verschiedene Veränderungen, und vorzüglich erhalten sie statt ihres einfachen Randes zwei Konturen (B). Die letztere Veränderung deutet an, daß in der Nervenfaser ungleichartige Substanzen enthalten sind, die nach dem Tode und unter der Einwirkung gewisser Stoffe sich deutlich von einander trennen. Die eine dieser Substanzen, welche die Peripherie der doppeltkonturirten Nervenfaser einnimmt, ist das Nervenmark, eine dickflüssige, ölähnliche Masse, welche durch Wasser zum Gerinnen gebracht wird und aus den Enden von durchschnittenen Nerven in unregelmäßigen Tropfen ausfließt. Die Mitte der Faser nimmt die andere Substanz, der Axencylinder Purkinje's ein; er ist nicht flüssig, sondern fest zusammenhaltend, wiewohl weich und biegsam. Es muß noch unentschieden bleiben, ob diese beiden Theile der Faser schon im Leben von einander getrennt sind, oder ob sie sich erst nach dem Tode von einander scheiden. Jedenfalls wird diese Scheidung nach dem Tode und durch äußere Einflüsse viel bedeutender, und sie fehlt oft bei sehr dünnen Nervenfasern ganz,

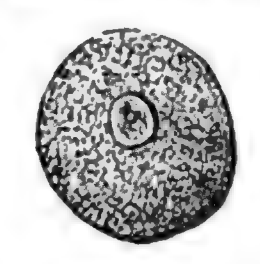
Digitized by Google

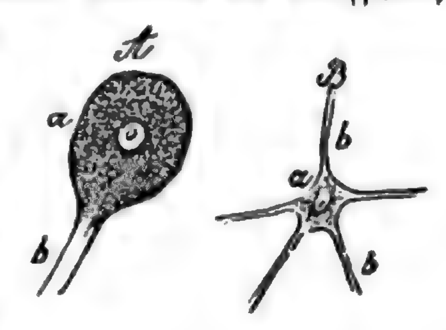
ohne daß man berechtigt wäre, diese für wesentlich verschieden von den dickeren zu halten. Es scheint, daß die Nervenfaser immer zwei verschiedene Substanzen einschließt, die bei einigen, besonders dicken Fasern schon während des Lebens, bei andern aber erst während des Absterbens der Nervenmasse aus einander treten. Die flüssigere Substanz, das Nervenmark, zeichnet sich durch seinen Fettgehalt besonders aus. Nervenmark und Axencylinder werden aber noch von einer sehr zarten, strukturlosen Haut, von der Nervenscheide eingeschlossen.

Die Nervenstränge verlaufen der Länge nach auf weitere Strecken durch die Lücken der Organe, und dieser Ausbreitung entspricht auch die Anordnung der mikroskopischen Fasern, welche jene Stränge zusammensetzen; sie liegen parallel neben einander und lassen sich oft weithin ohne Unterbrechung verfolgen. Aber die Frage ist sehr natürlich, wo denn der Ursprung dieser Fasern zu suchen sei. Man nimmt an, daß sie von den Ganglien bis zur Peripherie der Sinnes- oder Bewegungsorgane ohne Unterbrechung verlaufen, daß also dieselbe Faser Centrum und Peripherie unter einander verbindet. Wir werden später die große Wichtigkeit dieser Ansicht für die Physiologie der Nerven nachweisen; für jetzt ist es nothwendig, den Enden der Fasern selbst nachzuforschen, und wir werden hiebei zunächst auf die Ganglienkugeln oder Nervenzellen, als das auszeichnende Formelement aller Nervencentren, geführt.

Während die Nervenfasern überall, wo sie in größerer Menge erscheinen, mit glänzend weißer Farbe auftreten, verleihen die Ganglienkugeln allen Theilen des Nervensystems, deren Hauptmasse sie ausmachen, ein graulich es, matteres Ansehen. Dieser Gegensatz tritt besonders deutlich hervor, wenn man auf einem Querschnitte des menschlichen Hirns die weiße, mittlere Substanz mit der grauen Rindensubstanz vergleicht. Die Ganglienkugeln sind im Allgemeinen viel massiger, als die Nervenfasern; doch unterliegt auch ihr Durchmesser bedeutenden Schwankungen, zwischen $^1/_{20}$ und $^1/_{300}$ Linie. Sie müssen in jeder

Beziehung als Zellen bezeichnet werden. Zu äußerst sind sie umschlossen von einer sehr dünnen, strukturlosen Hülle. Ihr Inhalt erscheint weich und zäh; er besteht aus einer farblosen oder gelblichen, von feinen Körnchen durchsetzten Masse und aus einem scharf umschriebenen, glänzenderen Kerne. Sie enthalten also alle Theile der organischen Zelle. In manchen Fällen scheint die Bildung der Ganglienkugel sich auf die soeben geschilderten Charaktere zu beschränken; die Zelle ist dann rings geschlossen, rundlich, ohne Fortsätze. Aber je mehr man die Nervenzellen kennen lernt, desto zahlreicher werden die Beispiele, wo von ihnen (a) Fortsätze in Einer (A) oder in mehreren (B) Richtungen (b, b) ausgehen. Man ist über die Natur dieser Fortsätze öfters ungewiß geblieben; sehr häufig läßt sich indeß nicht daran zweifeln, daß Nervenfasern von diesen Kugeln ihren Ursprung nehmen; dieser Zusammenhang ist namentlich bei den Zellen, welche nur Einen Fortsatz aussenden (A), sehr oft mit Sicherheit nachgewiesen.





Gibt es also auch Nervenzellen, welche außer Verbindung mit Nervenfasern stehen, so dürften doch die letztern ohne Ausnahme von Nervenzellen entspringen; und zwar können mehrere oder nur je eine Faser von Einer Zelle ausgehen. Auf solche Weise erhalten die Nervenfasern einen centralen Ursprung. Von ihren peripherischen Endigungen läßt sich noch nicht mit der gleichen Sicherheit sprechen; doch haben auch hierin die letzten Jahre viel Aufklärung gebracht. Dahin gehören besonders die Theilungen, welche die Nervenfasern in den verschiedensten Partieen des Systemes an ihrer Peripherie erfahren. Die Theilung ist bald gabelig bald büschelförmig, und die Aeste sind viel feiner, als die Faser, aus welcher sie entspringen. Das Ende der Fasern scheint überhaupt dünner zu werden, und die letzten

Digitized by Google

Ausläufer derselben schließen sich zwischen den Geweben als kurze Spitzen ab.

Nervenzellen und Nervenfasern bilden die beiden Elemente, aus welchen das Nervensystem zusammengesetzt ist. Sie nehmen an der Thätigkeit des Systemes wesentlich Antheil; und der Beitrag, welchen jedes dieser Elemente liefert, kann aus der äußeren Gestalt mit ziemlicher Sicherheit begriffen werden. Die Nervenfasern verbinden Peripherie und Centrum mit einander; sie leiten sowohl die Sinneseindrücke, welche an der Oberfläche geschehen, nach innen, als die Bewegungsreize, welche im Innern entstehen, zu den äußern Bewegungsorganen. Es scheint, daß die centripetale oder centrifugale Leitung keine wesentliche Verschiedenheit im Baue der leitenden Nervenfasern verlangt; höchstens läßt sich behaupten, daß die centrifugalen, den Bewegungsreizen dienenden Fasern sich durch ihre größere Dicke auszeichnen. Bei dieser Richtung der Thätigkeit kommt es vielmehr auf die Lage und Verbindung der Endpunkte der Nervenfasern vor Allem an; die Bewegungsfasern z. B. stehen immer mit Muskeln im nächsten Zusammenhang.

Das Verhältniß der beiderlei Fasersysteme ist an ihren beiden Endpunkten sehr verschieden. In der Peripherie weichen sie so aus einander, daß jede innigere Beziehung derselben aufhört; jede Faser endigt hier abgesondert in dem Bewegungs- oder Sinnesorgane, welchem sie angehört, und die Bewegungsfasern biegen sich nicht, wie man geglaubt hat, schlingenförmig in sensible Fasern um. In den Nervencentren ist es aber anders. Schon die Reflexbewegungen (II. 246) beweisen, daß hier die sensiblen Fasern energisch auf die motorischen einwirken, und so weit man bis jetzt den Bau der Centralorgane kennt, scheinen die Ganglienkugeln oder Nervenzellen diese Wechselbeziehung der beiderlei Fasersysteme zu vermitteln. In manchen Fällen endigen vielleicht mehrere, theils sensible theils motorische Fasern in derselben Nervenzelle, und dann ist ihre Wechselwirkung unschwer zu begreifen. Außerdem aber scheinen die

Digitized by Google

Zustände der einen Nervenzelle sehr leicht auf die benachbarten Zellen einzuwirken, und daraus erklärt sich die Fortpflanzung der Reize auch bei solchen Nervenfasern, welche einzeln in einer Zelle endigen. Den Nervenzellen kommt also die Vermittlung zwischen den einzelnen Fasern zu; in den Fasern selbst findet kein Ueberspringen der Reize von einer Faser auf die andere statt; sondern in jeder einzelnen bewegt sich der Reiz isolirt von dem einen Endpunkte zum andern, sei es centripetal oder centrifugal.

Die Leitung der peripherischen oder centralen Reize durch die Nervenfasern ist auf verschiedene Weise erklärt worden. Man dachte natürlich vor Allem an Strömungen einer Flüssigkeit, welche sich gleich dem Blute durch alle Bahnen des Systemes fortbewegen sollte. Allein die nähere, mikroskopische Untersuchung der Nervenfasern zeigte bald, daß in diesen durchaus kein Fluidum vorhanden ist, welches einer Strömung fähig wäre. So blieb, wenn man von einer Nervenströmung nicht abgehen wollte, nur noch die Zuflucht zu einer unwägbaren, dem Licht- und Wärmeäther, dem magnetischen oder elektrischen Fluidum ähnlichen Flüssigkeit übrig. So lange diese Vergleichung nichts Anderes ausdrückt, als das Geständniß, daß man über die Natur des Nervenagens so wenig wisse, als über die Ursache des Lichtes, der Wärme oder der polaren Phänomene, so lange man insbesondere mit dem Worte Nervenäther nichts Besonderes auszusagen meint, mag eine solche Vergleichung schon zulässig sein. Aber wir glauben, daß, wie überall, so auch hier der schärfste Ausdruck für die Thatsachen aufgesucht werden sollte, und daß dieser Schärfe die Hypothese eines wunderbaren Nervenäthers nicht entspricht.

Die Leitung der Nerveneindrücke wird unter allen physikalischen Phänomenen mit keinem besser verglichen, als mit der Leitung der Elektricität. Wenn die Elektricität in der Sekunde mehr als 60,000 Meilen zurücklegt, so scheinen die Nervenfasern ihre Eindrücke wenigstens mit eben so großer Geschwindigkeit zu leiten. Bis jetzt ist es nämlich noch gar nicht gelungen,

Digitized by Google

eine bestimmte Zeitdifferenz zwischen einem äußeren Eindruck und der darauf folgenden Reflexbewegung zu entdecken, und man könnte hieraus schließen, die Fortpflanzung der Eindrücke geschehe in den Nervenfasern unabhängig von aller Zeit. Allein die Analogie spricht dafür, daß auch diese Fortpflanzung durch ein bestimmtes Zeitmaaß bestimmt ist, und daß es nur an Nervenfasern von gehöriger Länge fehlt, um, wie an sehr langen elektrischen Drähten, die Geschwindigkeit der Leitung zu messen. Vergleichen wir somit Nervenleitung mit elektrischer Leitung, so ist es folgerichtig, auch als Grund der Nervenwirkungen eine bestimmte Kraft anzunehmen, welche an gewissen Punkten des Systemes erregt wird, in anderen, leitenden Partieen aber sich fortbewegt. Als Leiter haben wir die Nervenfasern kennen gelernt; die Erregung der Kraft scheint in den Nervenzellen zu geschehen.

Jeder Bewegungsreiz, welcher einen Muskel in Bewegung setzt, geht im normalen Zustande nicht von Nervensträngen und Nervenfasern, sondern von den Ganglienkugeln der Centralorgane aus. Ebenso bewirkt jeder äußere physikalische Eindruck nur insofern einen bestimmten Effekt, als er durch centripetale Nervenfasern den Nervenzellen mitgetheilt wird; durch diese wird er entweder zur bewußten Sinnesempfindung erhoben, oder unmittelbar in einen Bewegungsreiz umgewandelt. Gegenüber den isolirenden Nervenfasern erscheinen also die Nervenzellen durchaus als die verbindenden, centralen Elemente. Das Mittelglied, welches zwischen die aufnehmende und bewegende Nervenfunktion eintritt, mag es die bewußte Seelenthätigkeit oder das dunklere Wirken einer unbewußten Kraft sein, wählt sich immer die Ganglienkugeln zu seinen Organen. Die Struktur der Nervenfasern, ihr ununterbrochener Verlauf vom Centrum zur Peripherie paßt aufs beste für die Leitung von Reizen, bei denen es vor Allem darauf ankommt, daß sie unvermischt und klar von dem einen Endpunkte des Leiters zum andern gelangen, daß also jedes Bewegungsmotiv für sich die passenden Muskelpartieen treffe,

Digitized by Google

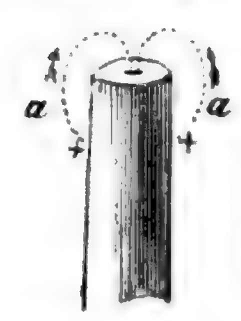
und daß ebenso jeder Sinneseindruck ungetrübt zum Bewußtsein komme. Auf der andern Seite drückt die kuglige, rings geschlossene Form der Nervenzellen deutlich aus, daß es sich hier nicht von einer Weiterleitung überkommener Eindrücke, sondern von einer innerlichen Verarbeitung und Hervorbringung von Nervenreizen handelt. Wenn wir den Nervenwirkungen eine Kraft unterlegen, welche mit der elektrischen einige Aehnlichkeit hat, so dürfen wir auch die Ganglienkugeln mit den Apparaten vergleichen, in denen Elektricität durch Contakt erregt wird.

Diese Parallele zwischen Nervenkraft und elektrischer Kraft läßt sich indeß nicht in allen Punkten durchführen. Beide sind zeitweise ruhend und werden durch verschiedenartige, innere oder äußere Antriebe in Wirksamkeit versetzt. Aber es wird weder bei der Elektricität noch beim verwandten Magnetismus jenes Schwanken beobachtet, welches die Nervenkraft je nach dem Grade ihres Aufwandes bald stärker bald schwächer erscheinen läßt; nur im Nervensysteme gibt es bei großer Anstrengung einen Zustand der Erschöpfung und bei Wiederkehr der Ruhe eine Zeit der Erholung. Ebenso fehlen der Nervenkraft die polaren Gegensätze, welche durch ihr Auseinandertreten die elektrische und magnetische Kraft erst in Wirksamkeit versetzen; denn die centripetale und centrifugale Nerventhätigkeit lassen sich nicht wohl mit den positiven und negativen Polen der Elektricität vergleichen. Auf solche Weise bleibt die Elektricität mit der Nervenkraft nur in hohem Grade verwandt; und wir haben dasselbe schon von der eigenthümlichen Bewegungskraft der Thiere, welche mit der Nervenkraft zusammenfällt, wiederholt ausgesprochen (II. 21. 249).

Die Thätigkeit der Nerven läßt sich also nicht mit dem elektrischen Processe identificiren; aber es scheint, daß wie jener Thätigkeit die mikroskopischen Nervenelemente als passende Unterlage dienen, so auch aus der innern Anordnung der Nervenelemente eine Vertheilung der elektrischen Gegensätze unmittelbar hervorgeht. Dubois-Reymond hat gezeigt, daß in der Nerven-

Digitized by Google

faser durch eine ununterbrochene elektrische Vertheilung der Querschnitt negativ, der Längsschnitt positiv sich verhält. Verbindet man daher die beiden Oberflächen der Faser durch leitende Bögen (a, a), so muß in den letztern ein fortwährender Strom vom Längsschnitt zum Querschnitt sich bewegen (I. 130). Da die Nervenfasern rings von leitenden Substanzen umgeben sind, so kann es auch im Leben an einem solchen Strome oder, was damit zusammenfällt, an einer Ausgleichung der positiven und negativen Electricität der Nervenfasern nie fehlen. Diese Ströme haben ihren Grund nur in dem anatomischen Verhalten, vielleicht in der innern Ungleichartigkeit der Nervenfasern. Sie werden so wenig durch die Nerventhätigkeit hervorgerufen, daß sie vielmehr, so lange die Faser in Thätigkeit ist, sich sehr vermindern oder völlig aufhören. Auch hierin zeigt es sich, daß Elektricität und Nerventhätigkeit zwar in einer genauen Beziehung zu einander stehen, aber nicht den gleichen Gesetzen und Bedingungen unterworfen sind.



Wenn wir das Nervensystem auch als ein centrales betrachten, so müssen wir also doch in ihm selbst wieder peripherische und centrale Elemente, Nervenfasern und Nervenzellen unterscheiden. Wir nehmen an, daß im ganzen Systeme eine und dieselbe Kraft thätig ist; aber nur in den Nervenzellen setzen wir eine selbständige Erregung der Nervenkraft voraus. Ueber die Art und Wirksamkeit dieser Kraft sind uns freilich blose Vermuthungen erlaubt; aber es ist besser, diese Unwissenheit einzugestehen, als die wirkliche Kenntniß durch Worte und Analogieen zu ersetzen. Die Nervenkraft wirkt mit ungemessener Geschwindigkeit; sie vermittelt Sinneseindrücke und Bewegungen; in den Organen des Stoffwechsels läßt sie auf jene Eindrücke unmittelbar die Reflexbewegungen erfolgen; auf den höheren Stufen des Nervensystems wirkt sie in dem Gehirn, d. h. in jenem Organe, welches bewußte Sinneseindrücke aufnimmt und willkührliche Bewegungen anregt.

Digitized by Google

Die Elemente des Nervensystems liegen nirgends frei und unbedeckt an der Oberfläche des Körpers; sie gleichen hierin den Blutströmchen, welche immer durch eine Gewebschichte nach außen bedeckt werden. Aber auf der andern Seite ist es nur in Einer Richtung ein besonderes Gewebe, was sich den Nervenenden auflagert; nur für die Ausführung der Bewegungen ist das eigenthümlich gebildete Muskelgewebe nothwendig. Die Sinneseindrücke hingegen werden bald durch die allgemeinen Körperbedeckungen, bald durch besondere Apparate den Enden der Nervenfasern zugeführt; es fehlt ein eigenes Gewebe, welchem ausschließlich die Ueberführung dieser Eindrücke zukäme. Wie wir nach dem Blute die Drüsen abhandelten, so muß jetzt auf das Nervensystem die Besprechung des Muskelgewebes folgen.

Dieses Gewebe besteht durchgängig aus fasrigen Elementen. Aber die Muskelfasern sind bei den höheren Thieren von zweierlei Art, und es ist besser, diese zwei Arten vorerst von einander zu trennen. Man bezeichnet sie als die gestreiften und als die glatten Muskelfasern.

Die gestreiften Muskelfasern haben ihren Namen deßwegen erhalten, weil sie nicht gleichförmige, runde Fäden darstellen, sondern in regelmäßigen Absätzen durch Querstreifen unterbrochen sind (B). Es scheint, daß diese Streifung ihren Grund in einer abwechselnden Einschnürung und Auftreibung der Muskelfasern hat. Die Dicke der Muskelfasern ist sehr gering; sie beträgt ungefähr $1/2000$ Linie; ihre Querstreifen sind $1/2500$ bis $1/1000$ Linie von einander entfernt. Diese feinsten Formelemente der gestreiften Muskel lassen sich zwar mit völliger Bestimmtheit isoliren; aber sie stellen, wenn man die Entwicklungsgeschichte der Muskel betrachtet, doch nicht die morphologische Einheit des Muskelgewebes dar. Viele Fasern, oft mehrere Hunderte, liegen nämlich dicht beisammen und werden von einer sehr dünnen Scheide umschlossen; man nennt diese

Digitized by Google

Masse einen Muskelprimitivbündel (A), und jeder solche Bündel entwickelt sich aus einem einfachen Cylinder von Muskelsubstanz durch ein Zerfallen in longitudinaler Richtung. Der Primitivbündel entspricht also der einfachen Nervenfaser; er wird, wie diese, von der strukturlosen Scheide umgeben; aber während die Nervenfaser einfach bleibt, spaltet sich der Bündel in zahlreiche, parallelliegende Fäserchen. Die Querstreifen der einzelnen Fäserchen entsprechen sich so, daß auch die Oberfläche der Primitivbündel zierliche Querstreifen mit größerer oder geringerer Schärfe erkennen läßt. Die Dicke der Primitivbündel wechselt sehr; sie steigt bei den höheren Thieren und beim Menschen von $1/_{200}$ bis zu $1/_{30}$ Linie.

Diesen quergestreiften Fasern stehen die glatten gegenüber. Sie erscheinen gleichfalls in Primitivbündeln, die aus feineren Fäserchen zusammengesetzt sind. Aber während diese Längsfaserung der Bündel bei den gestreiften Muskeln beinahe nie ganz fehlt, tritt sie bei den glatten Muskeln in der Mehrzahl der Fälle sehr zurück. Häufig und besonders bei den höheren Thieren bestehen die glatten Muskeln nur aus breiten und platten Fasern, welche den Primitivbündeln der gestreiften Muskeln entsprechen und bisweilen auch Spuren von longitudinaler Faserung erkennen lassen. Diese breiten Fasern stellen gleichsam die unvollkommenste Struktur der Muskel dar; in den Fäserchen der quergestreiften Muskel erreicht diese Struktur ihre höchste und mannigfaltigste Gliederung.

Wenn man die Anordnung der gestreiften und der glatten Muskel blos bei den höchsten Thieren und beim Menschen ins Auge faßt, so könnte man leicht zu der Ansicht verleitet werden, die ersteren dienen blos der willkührlichen, die letzteren der unwillkührlichen Bewegung. Denn in der That fehlen glatte Fasern ganz in den Muskeln der äußern Glieder, während sie in der Muskelhaut des Darmkanales ausschließlich vorkommen. Aber gegen diese Annahme spricht schon, daß selbst bei den höheren

Thieren und beim Menschen das Herz, welches doch sicherlich unter die unwillkührlichen Muskel gehört, aus quergestreiften Bündeln zusammengesetzt wird. Noch gründlicher wird jene Annahme widerlegt, wenn man die Muskel der verschiedenen Thierklassen unter einander vergleicht. Bei den Polypen, bei den Quallen, Stachelhäutern, Eingeweidewürmern und Weichthieren werden, ihre Organisation mag sonst noch so hoch entwickelt sein, alle Bewegungen durch ungestreifte Muskel ausgeführt. Bei den Krebsen, Spinnen und Insekten dagegen sind die gestreiften Fasern wohl ausgebildet, und bei den Insekten findet man die Querstreifen nicht blos an den willkührlichen Muskeln, sondern auch in der Muskelhaut des Magens und des Darmkanals. So bleibt im Baue der Muskel nichts übrig, was mit dem Unterschiede zwischen willkührlicher und unwillkührlicher Bewegung in unmittelbarer Beziehung stünde. Aber wir sind eben so wenig im Stande, eine andere physiologische Bedeutung der Querstreifen anzunehmen.

Für die Thätigkeit der Muskel hat nächst der Gestalt ihr physikalisches Verhalten die größte Wichtigkeit. Bei den Nervenfasern ist es bis jetzt noch nicht möglich gewesen, den Cohäsionszustand mit der Thätigkeit in eine nähere Beziehung zu setzen; es läßt sich nur negativ behaupten, daß die Thätigkeit der Nervenfasern bei einer geringeren Weichheit derselben durch die Ortsveränderungen des Körpers bedeutende Störungen erleiden müßte. Aber für die Thätigkeit der Muskelsubstanz gewinnen ihre Cohäsionsverhältnisse schon eine positivere Bedeutung. Es ist die Elasticität der Muskelfasern, welche hier besonders in Betracht kommt, und auf welche Eduard Weber vor kurzer Zeit zuerst die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Die Substanz der Muskel ist nicht blos weich und nachgiebig; sondern sie läßt sich auch in hohem Grade ausdehnen und kehrt aus dieser Ausdehnung wieder zu ihrer vorigen Gestalt zurück. E. Weber vergleicht sie wegen dieser Verbindung von großer Ausdehnbarkeit und bedeutender Elasticität mit dem Kautschuk. Diese Ei-

Digitized by Google

genschaften sind für die Existenz der Muskel von größter Wichtigkeit. Wären die Muskel weniger ausdehnbar, so würden sie bei raschen Streckungen oder Beugungen der Glieder leicht einreißen. Wären sie weniger elastisch, so könnten sie nach der Ausdehnung nicht so rasch ihre vorherige Lage wieder annehmen, und sowohl die Muskelthätigkeit als die Form des thierischen Körpers müßte darunter leiden. So aber befinden sich vermöge des Baues der Glieder die meisten Muskel während des Lebens in einer fortwährenden Spannung; ihre Elasticität muß daher ununterbrochen den inneren Zusammenhalt des ganzen Körpers erhöhen.

Diese Ausdehnbarkeit und Elasticität sind einfache Folgen von dem inneren Baue der Muskelsubstanz; sie gehören zu den Eigenschaften, die dieser als solcher und ohne Weiteres zukommen. Sie hängen daher auch von den vorübergehenden Thätigkeiten der Muskel nicht in ihrem Bestehen ab. Wohl aber werden sie durch diese Thätigkeiten in Bezug auf ihren Grad abgeändert. Ein Muskel, der sich auf einen Bewegungsreiz zusammenzieht, wird während der Zusammenziehung zugleich ausdehnbarer und weniger elastisch; er widersteht der mechanischen Ausdehnung mit weniger Kraft, und diese Veränderung muß natürlich der Energie der Zusammenziehung Eintrag thun. Nach dem Tode aber werden die Muskel zugleich weniger ausdehnbar und weniger elastisch, und es ist hieraus die Todtenstarre zu erklären. Der Cohäsionszustand der Muskelsubstanz wird also durch alle jene Einflüsse verändert, welche überhaupt eine Verschiebung oder anderweitige Umwandlung in den kleinsten Theilchen der Muskelfasern hervorbringen.

Wie die Ausdehnbarkeit und Elasticität unzertrennliche Eigenschaften der Muskel sind, so entspringt auch aus dem Baue der Muskel unmittelbar ein elektrischer Strom, welcher mit dem Strome der Nervenfaser die größte Aehnlichkeit hat. Durch Dubois-Reymond ist bewiesen, daß dieser Strom nicht blos in jedem Primitivbündel, sondern in jedem Muskelfäserchen sich

Digitized by Google

findet. Auch hier verhält sich der Querschnitt negativ zum positiven Längsschnitt; auch hier bewegt sich also der positive Strom im Innern des Nerven vom Querschnitt zum Längsschnitt, in einem äußern leitenden Bogen aber von diesem zu jenem zurück. Die Stärke dieses Stromes steht in geradem Verhältnisse zur Energie oder Leistungsfähigkeit des Muskels; mit dem Absterben wird er schwächer und hört zuletzt ganz auf. Aber außerdem wird der Muskelstrom gleich dem Nervenstrom sehr vermindert oder ganz unterbrochen, so lange der Muskel sich in Thätigkeit, im Zustande der Zusammenziehung befindet. Die Elektricität der Muskel wird also, wie ihre Cohäsion, durch die Zusammenziehungen derselben abgeändert; aber es ist uns nicht möglich, die Bedeutung der elektrischen Muskelströme für den allgemeinen Haushalt des Körpers ebenso anzugeben, wie wir die Muskelelasticität als eine sehr wichtige Eigenschaft dieses Gewebes nachgewiesen haben.

Es bleibt jetzt noch übrig, die Art und Weise zu erörtern, in welcher die Zusammenziehung eines Muskels zu Stande kommt. Wenn man den ganzen Muskel während seiner Thätigkeit beobachtet, so findet man, daß er sich verkürzt, daß er aber entsprechend sich verdickt und also während der Contraktion gar keine oder doch keine merkliche Verdichtung seiner Masse erleidet. Ganz dieselben Veränderungen werden an dem Primitivbündel und an dem feinsten Fäserchen der Muskel während der Zusammenziehung beobachtet; ihre Enden werden einander genähert, und was sie hiebei an Länge verlieren, gewinnen sie an Dicke. Es handelt sich also hier nur von einer Verschiebung der kleinsten Theilchen der Muskelsubstanz. Während der Ruhe überwiegt an den Fasern die Dimension der Länge; während der Zusammenziehung vermindert sich jenes Uebergewicht, und die beiden andern Dimensionen machen sich jetzt kräftiger geltend. Diese Schilderung kann indeß nur als ein allgemeinerer Ausdruck der Thatsachen dienen; die Art und Weise, die Ursache jener Verschiebung der kleinsten Theilchen ist uns völlig verbor-

Digitized by Google

gen. Man hat vergebens versucht, die Verkürzung der Muskel aus einer Zickzackbeugung ihrer Fasern zu erklären; jetzt weiß man, daß diese Beugung gerade ein Charakter der ruhenden und nicht gespannten Muskelfasern ist. Richtiger dürfte die Vermuthung sein, daß die Anschwellung der gestreiften Fasern, welche ihre Verkürzung nothwendig begleitet, im Zwischenraume der Streifen oder der natürlichen Einschnürungen der Fasern ihren höchsten Grad erreicht. Das Phänomen der Zusammenziehung der Muskelfaser führt uns einfach auf eine ursprüngliche Fähigkeit der organischen Substanz zurück, welche bis jetzt keine weitere Erklärung zuläßt. Die Muskelzusammenziehung weicht von den Contraktionen des unterschiedlosen Körpers der Protozoen nur darin ab, daß dort ein besonderes Gewebe aus der allgemeinen Körpersubstanz für die Zwecke der Bewegung herausgetreten ist.

Wenn wir auch den inneren Vorgang der Muskelbewegung nicht ganz begreifen, so ist es doch möglich, bis auf einen gewissen Grad einzusehen, wie der innere Bau der Muskel zum richtigen Zustandekommen ihrer Bewegung wesentlich beiträgt. Der einzelne Muskel ist keine zusammenhängende Masse, welche sich als Ganzes bewegt; sondern er zerfällt vermöge des gestaltenden Principes der Organismen in sehr viele mikroskopische Formelemente. Dieses Zerfallen macht es möglich, daß Blutströmchen und Nervenfasern die ganze Masse durchziehen, um dem Muskel theils Nahrungsstoffe theils Bewegungsreize zuzuführen. Aber die Zusammensetzung aus zahlreichen Fasern thut darum der Muskelbewegung keinen Eintrag. Alle Fasern und alle Muskelbündel sind so angeordnet, daß ihre Verkürzung darauf hinwirkt, die beiden Enden des Muskels einander zu nähern. Daher liegen die Fasern zum großen Theile parallel neben einander, um gemeinsam in Einer Richtung zu wirken. An Orten aber, wo die Muskelansätze dünner sind, als der mittlere Theil des Muskels, nähern sie sich nach beiden Enden so, daß der Effekt ihrer Zusammenziehung sich doch in den Ansatzstellen des

Digitized by Google

Muskels concentrirt. Die Zusammensetzung aus contraktilen Fasern entspricht also am besten dem Zwecke der Muskel, entfernte Punkte einander zu nähern; und die Anordnung jener Fasern ist mannigfaltig genug, um die Muskel in den verschiedensten Richtungen wirken zu lassen.

Die Muskelfaser weicht in ihrer Thätigkeit von dem Blutströmchen und der Nervenfaser ab. Die letztere verbindet zwei Punkte, indem sie die unmeßbar schnelle Bewegung eines unbekannten Agens von einer Stelle zur andern vermittelt. Das Blutströmchen bewegt sich selbst mit meßbarer Geschwindigkeit an den Oberflächen vorüber, welche es in chemischer Beziehung verbinden soll. Die Muskelfaser verkürzt sich, verschiebt ihre Theilchen, um zwei Punkte einander bis auf einen gewissen Grad zu nähern.

Die Drüsenzellen zeigen sich in so fern abhängig vom Blute, als sie aus diesem alle Stoffe erhalten, deren Ausscheidung ihnen übertragen ist. Auf analoge Weise verhält sich der Muskel zum Nerven. Im normalen Zustande führt der Muskel nur diejenigen Bewegungen aus, welche in ihm durch die Einwirkung des Nervensystemes erregt worden sind. Die unbekannte Bewegung, welche die Nervenfaser in centripetaler Richtung erleidet, gibt den Anstoß zu der Verschiebung der Theilchen, auf welcher die Verkürzung der Muskelfaser beruht. Die Veränderung des Nerven erscheint hier als ein Reiz für den Muskel, und wie jene physikalischer Natur ist, so ruft sie auch zunächst eine physikalische Veränderung im Muskel hervor. So wenig wir indeß die Ursache der Nervenwirkung oder der Muskelverkürzung kennen, eben so wenig vermögen wir Genaueres auszusagen über die Art und Weise, in welcher die Nerventhätigkeit den Muskel erregt; wir wissen nur, daß Nerven- und Muskelthätigkeit im Allgemeinen in dieselbe Klasse von organischen Vorgängen gehören. Es scheint aber, daß die Nerventhätigkeit nicht ganz allein im Stande ist, Muskelcontraktionen hervorzubringen. Wenn man die Nervenzweige möglichst von den Mus-

Digitized by Google

keln entfernt, wenn man einen primitiven Muskelbündel untersucht, in welchem nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft keine Nerven enthalten sind, so gelingt es doch durch mechanische Eindrücke, durch Stechen oder Kneipen, noch mehr aber durch elektrische Reize, die Fasern zur Verkürzung zu bringen. Die Nerventhätigkeit ist also der natürliche Reiz für die Muskel; aber auf künstliche Weise kann sie auch durch andere ersetzt werden; und insbesondere wirkt hier wieder die Elektricität, das Agens, welches unter allen Kräften der Natur der Nervenkraft am verwandtesten ist.

Nächst der contraktilen Muskelfaser kommen hier die schwingenden Wimper des thierischen Körpers in Betracht. Während die Muskel nie an der Körperoberfläche selbst liegen, sondern immer von andern Geweben bedeckt werden, finden sich jene Wimper oder Cilien immer an der Oberfläche selbst, diese mag nach außen oder nach innen gekehrt sein. Ihre Größe schwankt bedeutend; aber im Allgemeinen stellen sie mikroskopische Elemente dar; beim Menschen z. B., welcher nur in seinen Lungen schwingende Cilien darbietet, beträgt ihre Länge blos $^1/_{500}$ Linie. Sie bilden immer Fäden von verschiedener Dicke. Das eine Mal sind sie platt, das andere Mal cylindrisch, das eine Mal stumpf, abgestutzt, das andere Mal in längere Spitzen ausgezogen. So weit unsere jetzigen Hilfsmittel reichen, ist es nicht möglich gewesen, in diesen Wimpern noch weitere, zusammensetzende Formelemente zu erkennen; eben so wenig scheint die Unterlage, auf welcher sie befestigt sind, für ihre Funktion eine besondere Bedeutung zu haben; denn sie finden sich an den verschiedensten Oberflächen des Thierkörpers. Sie stehen bald vereinzelt, bald in Reihen, bald dichtgedrängt beisammen.

Wenn man die Wimper während ihrer vollen Bewegung beobachtet, so ist es schwer, die einzelnen herauszuerkennen; denn sie erscheinen im Ganzen nur wie ein wogender Saum, welcher

Digitized by Google

die Oberfläche des Körpers umgibt. Man muß die Verlangsamung der Schwingungen erwarten, um ihre Richtung deutlich zu beobachten. Selten beschreiben die schwingenden Wimper einen Kegel, indem ihre Spitze sich im Kreise bewegt; sondern in der Mehrzahl der Fälle geschieht die Bewegung in Einer Ebene, und zwar so, daß der Wimper sich mit seiner ganzen Länge oder nur mit seinem oberen Ende nach der einen Seite (a) beugt und dann wieder aufrichtet. Diese Schwingung läßt sich nicht unpassend mit der Bewegung vergleichen, welche den Halmen eines Fruchtfeldes von dem darüberstreichenden Winde mitgetheilt wird. Es ist hier dasselbe Wogen, dasselbe Niederliegen und Wiederaufrichten, welches größeren Mengen von Cilien, so lange sie in Bewegung sind, ein so eigenthümliches Ansehen ertheilt. In der Regel beugen sich die Wimper immer in derselben Richtung; doch scheint bisweilen auch unter verschiedenen Umständen eine Beugung in verschiedenen Richtungen möglich zu sein.

a

Bei dieser Bewegung der schwingenden Wimper kann von Muskelfasern keine Rede sein. Es ist die gleichförmige, nicht weiter geschiedene Masse jener Hervorragungen, welche theils die Beugung, theils die Aufrichtung der Wimper hervorbringt. Vielleicht wird indeß nur die Beugung durch eine wirkliche Contraktion der Wimper erzeugt, während die Aufrichtung beim Nachlassen der Contraktion durch die einfache Elasticität der Wimper erfolgt. Der Grund der Contraktion ist uns bei den Wimpern eben so wenig bekannt, als bei den Muskelfasern; er muß wahrscheinlich in den Wimpern selbst und nicht in ihrer Unterlage gesucht werden. Aber wenn wir auch diesen nächsten Grund in die Wimper setzen, so muß doch weiter nach den Reizen gefragt werden, welche von außen die Schwingungen anregen. Von den Muskelfasern weiß man, daß der Nerveneinfluß, daß Elektricität und mechanische Eindrücke ihre Contraktionen hervorrufen. Aber bei den Wimpern fällt vor Allem jede Verbindung mit dem Nervensysteme weg; nirgends sind

Digitized by Google

Nervenfasern bis zur Basis der Cilien verfolgt worden. Daher ist auch von dem Nerveneinflusse, welcher auf die Muskelfasern als der einzige normale Reiz wirkt, bei den Wimpern nicht die Rede. Wo ein Nervensystem gehörig ausgebildet ist, also bei der großen Mehrzahl der Thiere, stehen die Schwingungen der Wimper nicht nur nicht unter dem Einflusse des Willens, sondern sie scheinen nicht einmal, wie die unwillkührlichen Muskelbewegungen, durch äußere Eindrücke unter Vermittlung des Nervensystemes erregt zu werden. In allen diesen Fällen sind die Wimperbewegungen als automatisch zu bezeichnen. Nur bei niederen Thieren, bei den Protozoen und namentlich bei den Räderthierchen, hat der Wille Macht über die schwingenden Wimper; aber hier fehlt ein ausgebildetes Nervensystem, um die Bewegungsreize zu den Wimpern zu leiten.

Die schwingenden Cilien sind Pflanzen und Thieren gemeinschaftlich. Im Thierreiche fehlen sie kaum einer einzigen Species; so ziehen sie sich beim Menschen durch die Verzweigungen der Luftröhre fast bis zu ihren äußersten Endigungen hin. Ihre Schwingungen erheben sich bei den Thieren nur selten, und zwar nur bei unentwickeltem Nerven- und Muskelsysteme, auf die Stufe der willkührlichen Bewegungen; aber auch von den unwillkührlichen Muskelbewegungen weichen sie durch den Mangel alles Nerveneinflusses ab. Gewöhnlich bewahren sie im Thierreiche denselben Charakter, welchen sie im Pflanzenreiche gezeigt hatten; alle Ursachen für ihr Zustandekommen wirken nur örtlich auf die Cilien selber ein. Wir wissen aber nicht, was die normalen Bewegungsreize der Wimper sind, und insbesondere, ob sie von innen oder von außen auf diese Gewebtheile wirken. Nach den Versuchen von Purkinje und Valentin scheint Elektricität auf die Wimperbewegungen keinen bestimmten Einfluß auszuüben; auch hierin weichen also die Wimper wesentlich von den Muskelfasern ab. Dagegen machen Erschütterung und Berührung die Schwingungen lebhafter, wenn sie zu ermatten anfangen; und in ähnlicher Weise begünstigt eine

Digitized by Google

mäßig erhöhte Wärme die Lebhaftigkeit der Schwingungen. Damit endlich diese Schwingungen überhaupt zu Stande kommen, müssen die Wimper nicht in der Luft, sondern in einer tropfbaren Flüssigkeit sich befinden, welche ihrer Substanz die nothwendige Feuchtigkeit gibt. Die Flüssigkeit darf aber nicht dicht, wie Oel oder Gummilösung sein; denn sonst hindert sie mechanisch die Schwingungen; eine Flüssigkeit von der Dichtigkeit des Blutserums ist für die Wimperbewegungen am angemessensten.

Wir haben diese Schwingungen wegen ihrer räthselhaften Natur etwas weitläufiger behandelt. Denn je dunkler dieser Gegenstand im Augenblicke noch ist, desto wichtiger erscheint es, alle diejenigen Punkte hervorzuheben, welche sich an frühere Erfahrungen anschließen, oder zu neuen Beobachtungen aufmuntern und hinleiten können. Gegenüber dem Muskelsystem erscheinen die schwingenden Wimper nicht als ein eigenthümliches, durch chemische Charaktere ausgezeichnetes Gewebe, sondern nur als Anhänge, als Hervorragungen derjenigen Gewebe, welche die äußerste Oberfläche des thierischen Körpers bilden. Auch in dieser Beziehung stehen sie nicht auf der Höhe der übrigen thierischen Gewebe; sondern sie sind mehr den pflanzlichen Bildungen ähnlich, welchen gleichfalls die scharfe Ausprägung der einzelnen Gewebe noch abgeht. Es fragt sich aber jetzt, welche Effekte diese Wimperschwingungen hervorrufen. Im Allgemeinen erregen die Wimper Ströme in der tropfbaren Flüssigkeit, welche die Oberfläche des Thieres zunächst umgibt; und zwar scheinen sie diese Ströme nicht durch ihre Beugung, sondern durch ihre Wiederaufrichtung zu bewirken; denn die Stromrichtung zeigt sich immer der Richtung der Beugung entgegengesetzt. Der Zweck dieser Ströme ist in manchen Fällen die Herbeischaffung der Nahrung; besonders bei den Räderthierchen leiten die Wimperschwingungen die umgebende Flüssigkeit gegen die Mundöffnung hin. In anderen Fällen dürfte der Zweck nur die Erneuerung der Flüssigkeiten sein, welche die Körperoberfläche be-

Digitized by Google

spülen. Dort endlich, wo die Wimper größer werden und entschieden der Willkühr dienen, können sie auch zur Ortsbewegung des Thieres selbst verwendet werden; sie nähern sich dann den vollkommeneren, aus Muskeln gebildeten Bewegungsorganen.

Muskelfasern und Cilien bewegen sich durch eine unerklärte Verschiebung ihrer kleinsten Theilchen, welche entweder eine allgemeine oder nur eine einseitige Verkürzung zur Folge hat. Die Bewegungen beider Formelemente müssen auf die Bewegungsfähigkeit der organischen Zelle überhaupt zurückgeführt werden; und mit dieser Hinweisung stehen wir bis jetzt an der Gränze aller Erklärung jener Phänomene. Beide Formelemente unterscheiden sich darin, daß die Thätigkeit der Muskelfasern unter der Herrschaft eines centralen Systemes, des Nervensystemes steht, die Cilien aber als rein peripherische Bildungen sich darstellen und nur bei den niedersten Thieren vom Bewußtseyn regiert werden.

Die hauptsächlichen Systeme des thierischen Körpers sind jetzt dem Auge des Lesers vorgeführt. Im Blute erhält der Stoffwechsel, im Nervensystem die physikalische Thätigkeit des Thieres ihre Centralisation. Aber die ganze Substanz der Körperorgane ist mit diesen Systemen noch nicht erschöpft. In niederen Thieren bleibt immer noch ein Theil der ursprünglichen Zellenmasse ungeformt, um die ausgeschiedenen Gewebe zu verbinden und einzuhüllen; sobald hingegen, wie bei den Wirbelthieren, die ganze Masse des Körpers sich bis ins Kleinste gestaltet und gliedert, so wird auch dieser gestaltlose Rest in bestimmte Gewebe verwandelt. Im Innern lagert sich zwischen die andern Gewebe das Bindegewebe; die Oberflächen des Körpers werden von den Epithelien überzogen.

Die Hauptmasse des Bindegewebes besteht aus farblosen, glatten, sehr dünnen Fasern; der Durchmesser der letzteren übersteigt nicht $^1/_{1000}$ Linie. Die Fasern liegen nicht vereinzelt; sondern eine gewisse Anzahl derselben gehört offenbar enger zusammen; sie laufen neben einander gedrängt und in

Digitized by Google

paralleler Richtung, und es ist passend, eine solche Vereinigung von Fasern als Bindegewebebündel zu bezeichnen. Dieser entspricht seiner Bedeutung nach dem Primitivbündel der gestreiften Muskel; er entsteht auch ursprünglich aus Einer, platten Faser, die erst nachher in ihre feinfaserigen Elemente sich spaltet. Diese Bündel liegen nicht gestreckt, sondern die Elasticität ihrer Fasern bringt, wenn sie sich selbst überlassen bleiben, eine wellenförmige Biegung derselben hervor. Die Bindegewebfasern sind auf der einen Seite sehr weich und biegsam; auf der andern aber sind sie zäh und schwer zu zerreißen.

Wo im Körper der höheren Thiere Organe unter einander verbunden werden, wo innerhalb der oberflächlichen Epithelien eine Gewebschichte die gerundeten Organe, wie Leber, Milz, Darmkanal, Lunge und Herz, umgibt, da sind es Bindegewebfasern, welche sowohl die Verbindung als die Umhüllung herstellen. Das eine Mal laufen die Bündel dieses Gewebes parallel neben einander, und es entstehen daraus die Sehnen, welche die Muskel mit den Knochen verbinden, und die Bänder, welche die Vereinigung der Knochen vermitteln. Das andere Mal durchkreuzen sich die Faserbündel mannigfaltig, und dann setzen sie flächenartige Ausbreitungen, Häute zusammen; eine solche Faserhaut überzieht die äußere Oberfläche aller Knochen, umhüllt die Eingeweide, und legt sich als Gefäßhaut um die Blutströme; eine ähnliche Schichte bedeckt endlich die Oberfläche des ganzen Thierkörpers, indem sie theils die nach innen gekehrten Schleimhäute theils die äußere Lederhaut darstellt, und selbst wieder an ihrer äußeren Oberfläche von den Epithelien überzogen wird.

Diese kurze Uebersicht zeigt zur Genüge, wie der Zweck der Verbindung anderer Gewebe und Organe von den Bindegewebfasern auf verschiedene Weise erfüllt wird. Wenn die Nerven und Muskel der Sinnesthätigkeit und Bewegung, die Blutströme und Drüsen dem thierischen Stoffwechsel dienen, so

Digitized by Google

kommt offenbar den Bindegewebfasern keine dieser speciellen Thätigkeiten zu; sie stellen mehr nur die Träger, die Unterlage der andern Gewebe dar. Zu dieser Bestimmung passen ihre physikalischen Verhältnisse aufs beste. Ihre Weichheit und Beweglichkeit läßt sehr leicht eine Verschiebung der Organe zu; ihre schwache Elasticität führt die verschobenen Organe wieder *langsam* zu ihrer vorherigen Lage zurück. Aber wenn man die physikalischen Eigenschaften dieser Fasern näher untersucht, so tritt noch eine Eigenschaft hervor, welche eine weitere Thätigkeit derselben vermuthen läßt. *Dubois-Reymond* hat nicht nur in den Fasern der Nerven und Muskeln, sondern auch in den Bindegewebfasern elektrische Ströme nachgewiesen. Auch hier verhält sich der Querschnitt negativ, der Längsschnitt positiv; aber die Ströme sind überaus schwach. Man wird durch diese Thatsache unwillkührlich zu der Vermuthung geführt, daß auch den Bindegewebfasern eine organische Bewegungsfähigkeit zukomme. In der That dürfte die Runzelung, welche die äußere Haut durch Kälte erfährt, von einer solchen Eigenschaft der Bindegewebfasern wenigstens theilweise abzuleiten sein. Es scheint, daß diese Fasern besonders durch äußere Kälte bestimmt werden, sich zu verkürzen, und daß die Nerven auf sie keinen oder doch einen sehr geringen Einfluß ausüben. Dem schwachen elektrischen Strome würde also bei den Bindegewebfasern eine sehr schwache Contraktilität entsprechen.

Zwischen diesen weichen, dünnen Fasern liegen im Bindegewebe an allen Stellen noch andere, welche sich durch größere Breite und durch bedeutende Sprödigkeit auszeichnen; man nennt sie die *elastischen Fasern*. Wenn man Bindegewebe mit Essigsäure behandelt, so quellen die dünneren Fasern auf und werden undeutlich; die elastischen Fasern aber treten jetzt erst in ihrer ganzen Schärfe hervor. An den meisten Orten sind diese Fasern nur zwischen den dünneren zerstreut; aber in einigen Organen werden sie häufiger und liegen endlich so nahe

Digitized by Google

beisammen, daß keine dünneren Bindegewebfasern mehr zwischen ihnen vorkommen; in solchen größeren Massen zeigen sie eine gelbe Farbe. Die einzelnen Fasern sind glänzend, öfters verzweigt, durch scharfe Ränder ausgezeichnet; ihr Durchmesser wechselt sehr; er kann bis zu $^1/_{300}$ Linie steigen. Die vornehmsten Eigenschaften dieser Fasern sind ihre geringe Ausdehnbarkeit und ihre bedeutende Elasticität. Sie springen sehr leicht ab, und ihre freien Enden rollen sich stark ein. Diese beiden Eigenschaften weisen den elastischen Fasern ihre Stelle in der thierischen Organisation an. Bei weitem in den meisten Fällen genügen zur Verbindung der Theile die weichen, wenig elastischen Bindegewebfasern. Aber an manchen Orten bedarf es der elastischen Fasern, um zu starke Ausdehnungen zu verhüten und um die Theile aus ihrer Verschiebung wieder rasch in ihre vorherige Lage zurückzuführen. Wir werden später zeigen, wie elastische Fasern verwendet werden, um in den Pulsadern dem Drucke der Blutsäule zu begegnen, oder um zwischen den Knochen Verbindungen herzustellen, zu welchen weder Muskel, noch gewöhnliche Bänder ausreichen würden.

Es wird später dargethan werden, daß die elastischen Fasern und die Bindegewebfasern vermöge ihrer Entstehung wesentlich zusammengehören. Sie gleichen sich überdieß darin, daß beide beim Kochen Leim geben; nur muß bei den elastischen Fasern das Kochen längere Zeit fortgesetzt werden. Endlich lassen auch die elastischen Fasern schwache elektrische Ströme erkennen, und man darf bei ihnen gleichfalls einen geringen Grad von Contraktilität vermuthen.

Die Bindegewebfasern und die elastischen Fasern bilden nur den einen Theil jener Masse, welche die Zwischenräume der Körperorgane ausfüllt. An vielen Stellen des Körpers lagern sich zwischen die Fasern des Bindegewebes die Fettzellen ein. Diese stellen rundliche, selten rein kugelrunde, sondern meist ovale Bläschen dar, welche von einer strukturlosen Membran

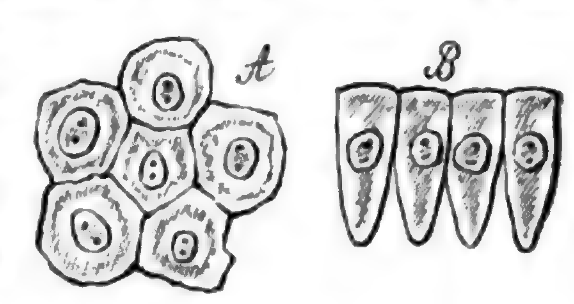
gebildet und von Fett ausgedehnt sind; wegen dieses Fettgehaltes zeigt ihre Oberfläche einen bedeutenden Glanz und dunkle, scharfe Ränder. Fast überall, wo das Bindegewebe locker und nicht zu Häuten oder Bändern geformt ist, schließt es solche Fettzellen in verschiedener Menge ein; in den Höhlen der Knochen lassen diese Zellen sehr wenig Bindegewebe zwischen sich, und ihre Ansammlungen werden als das Mark der Knochen bezeichnet. Die Bedeutung der Fettzellen ist nicht schwer anzugeben. Wie die elastischen und Bindegewebfasern, erfüllen sie die Lücken der Körperorgane. Aber sie stellen dabei keine feste Verbindung zwischen den einzelnen Theilen her, sondern dienen mehr nur dazu, die leeren Zwischenräume auszugleichen und die stärkeren Hervorragungen des Körpers zu verbinden und abzurunden. Indeß kommt hiezu noch eine zweite, chemische Bedeutung. Wenn das Fett wirklich die Hauptsubstanz ist, welche im thierischen Körper zur Athmung verwendet wird, so erscheinen die Fettzellen als der Ort, wo überschüssiges Fett aus dem Blute abgelagert, und wo dieß abgelagerte Fett zum Zwecke des Athmens wieder vom Blute aufgenommen wird. Die Fettzellen erhalten hiedurch eine nähere Beziehung zum Stoffwechsel der Thiere; aber ihre Rolle ist hiebei eine untergeordnete und mehr passive; es ist eben ihr geringes Eingreifen in die organischen Vorgänge, was sie zur Aufbewahrung der fettartigen Stoffe tauglich macht.

Die Bindegewebfasern, die elastischen Fasern und die Fettzellen bilden zusammen die organische Masse, welche die verschiedenartigen Gewebe und Organe der höheren Thiere unter einander vereinigt. Die Bindegewebfasern behaupten unter den drei genannten Formelementen das Uebergewicht, und nur an einzelnen Punkten werden sie von den elastischen Fasern oder den Fettzellen verdrängt.

Es bleiben von den Geweben des thierischen Körpers jetzt noch die Epithelien übrig, welche alle Oberflächen, diese mögen innere oder äußere sein, überziehen. Ihre Formelemente

Digitized by Google

behalten den Charakter von Zellen bei. Sie zeigen einen platten, kreisrunden ovalen Kern, eine sehr dünne Hülle und einen Inhalt, der im Anfang flüssig ist, später aber fest zu werden scheint und nicht selten Körnchen einschließt. Diese Zellen sind nur an wenigen Orten kuglig; sie weichen in der Regel von dieser Grundform nach zwei Seiten hin ab. Das eine Mal (A) werden sie platt, flächenartig ausgebreitet; sie stellen dann stumpfeckige Platten dar, welche sich mit ihren Rändern berühren; diese Form hat man Pflasterepithelium genannt.



Das andere Mal (B) überwiegt Eine Dimension über die beiden andern, und die Zellen erscheinen als Cylinder, welche dicht gedrängt und aufrecht neben einander stehen; diese zweite Form ist das Cylinderepithelium. Ueber das Vorkommen dieser beiden Formen läßt sich nichts Allgemeines sagen; beim Menschen sind die äußeren Körperoberflächen mit Pflasterzellen, die Schleimhäute meist mit Cylinderzellen besetzt.

Diese Epithelien überziehen indeß nicht blos diejenigen Oberflächen, welche den äußeren, luftartigen und tropfbarflüssigen Medien oder der Höhle des Nahrungskanales zugekehrt sind. Sie bilden eine dünne Decke auch auf denjenigen Flächen, welche völlig nach innen liegen, z. B. auf der inneren, dem Blute zugekehrten Fläche der Gefäße. Ihr gemeinschaftlicher Charakter ist es, daß Blutströmchen und Nervenfasern sich nicht zwischen ihren Zellen verbreiten; ihre Substanz wird von den unterliegenden, blut- und nervenreichen Geweben geliefert. Ihr gemeinsamer Zweck scheint die scharfe Abgränzung und der Schutz der Organe zu sein, welche sie überziehen. Je mehr eine Oberfläche der Außenwelt zugekehrt ist, desto mehr bedarf sie dieses Schutzes, und mit diesem Bedürfnisse steigt die Dicke der Epithelien. In dieser Beziehung ist die Oberhaut besonders hervorzuheben, welche die allgemeinen Bedeckungen der höchsten

Digitized by Google

Thiere und des Menschen überzieht. Diese Oberhaut besteht aus mehreren Schichten von Pflasterzellen, und sie ist an Hautstellen, welche starkem Drucke ausgesetzt sind, z. B. an der Fußsohle des Menschen, besonders dick. Ihre Zellen bleiben nicht ununterbrochen an demselben Orte und in demselben Zustande. Die äußeren Einflüsse, welche die Oberhaut treffen, bewirken vielmehr ununterbrochen eine Abschuppung ihrer äußersten Schichten; die tieferen Schichten rücken nach, und die tiefsten werden immer durch neue Zellenmasse ersetzt, welche die unterliegende Lederhaut ausschwitzt. Eine ähnliche Abstoßung und Erneuerung kommt vielleicht an allen Epithelien vor; aber sie ist nirgends so deutlich, als an den geschichteten Pflasterzellen, welche den Körper gegen die äußere Luft abgränzen.

Als eigenthümliche Weiterbildungen der Epithelien müssen die Hervorragungen angesehen werden, welche man als Haare, Nägel und Federn, als Schildpatt der Schildkröten beschreibt. Sie sind nichts als Combinationen besonderer Formen von Epithelialzellen; sie enthalten, wie die Epithelien, weder Blutströmchen noch Nerven; sie werden, wie diese, von Zeit zu Zeit abgestoßen und von den unterliegenden Geweben immer wieder aufs Neue erzeugt. In den verschiedenen Thierklassen erfüllen sie verschiedene Zwecke, und wir werden von diesen später, bei den zusammengesetzten Organen der Thiere, zu handeln haben. Hier muß aber noch von der Verbindung der schwingenden Wimper mit den Epithelien gesprochen werden. Da jene immer an den Oberflächen des Körpers stehen, so werden sie natürlich überall, wo Epithelialzellen deutlich vorhanden sind, von diesen getragen. Meist gehören solche Zellen dem Cylinderepithelium an; wir erwähnen als ein Beispiel nur die flimmernden Zellen, welche die Luftröhre der höheren Thiere an der inneren, freien Fläche auskleiden.

Aus diesen verschiedenartigen Geweben baut sich der Körper der Thiere auf. An sich sind alle Gewebe weich,

Digitized by Google

feucht und biegsam, und bei manchen Thieren behalten sie diese Weichheit während des ganzen Lebens bei. In der Mehrzahl der Thiere aber findet man an besonderen Stellen mineralische Stoffe abgelagert; sie geben den organischen Theilen eine größere Festigkeit, und man begreift diese festeren Partieen als die Skelete der Thiere. Phosphorsaurer und kohlensaurer Kalk bilden vorzüglich die unorganische Grundlage der thierischen Skelete; jener überwiegt bei den Wirbelthieren, dieser bei den Wirbellosen.

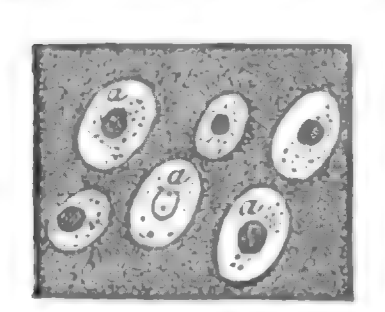
Die Struktur des Skelets ist bis jetzt nur bei den Wirbelthieren so genau erforscht worden, daß es möglich ist, die Resultate der Beobachtungen an andere Thatsachen der Wissenschaft anzuknüpfen. Hier lagern sich die mineralischen Stoffe immer an denselben Stellen ab, an welchen sonst sich blos Bindegewebe ausbildet. So finden sich bei den Säugethieren und Vögeln die Knochen nur in den Zwischenräumen der Körperorgane; bei vielen Reptilien und Fischen aber entwickelt sich wirkliche Knochensubstanz außerdem in der Lederhaut, welche sonst nur aus gedrängten, sich durchkreuzenden Bindegewebfasern besteht. Es ist also theils das umhüllende, theils das vereinigende Bindegewebe, an dessen Stelle Knochenbildungen auftreten. Aber nicht blos der Ort ist für die beiderlei Bildungen gemeinschaftlich; sondern auch die organischen Bestandtheile, welche beiden zu Grunde liegen, scheinen im Wesentlichen dieselben zu sein. Nicht blos aus Bindegewebe und elastischem Gewebe, sondern auch aus Knochen und Knorpeln kann durch Kochen Leim erhalten werden, und der Knorpelleim unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Leime nur durch einige, weniger wesentliche Eigenthümlichkeiten.

Wenn wir das Skelet der Wirbelthiere mit dem Bindegewebe vergleichen, so verstehen wir unter dem letztern nicht allein die eigentlichen Bindegewebfasern, sondern jene ganze Masse, welche die Zwischenräume der Organe ausfüllt, also zugleich die Fettzellen und die Fasern des elastischen und des Bindegewebes. Faßt man die Parallele in solcher Weise auf,

Digitized by Google

so wird das Verständniß des feineren Baues der Knochen und Knorpel bedeutend gefördert. Auch in diesen Skelettheilen treten nämlich vor Allem Zellen auf; die Zwischensubstanz aber ist ursprünglich noch ganz formlos und entwickelt sich erst später zu bestimmten Formelementen.

Der Knochen ist nämlich nirgends, wo er im Körper der Wirbelthiere auftritt, ein ursprüngliches Gebilde; sondern er entwickelt sich immer aus anderen Bildungen heraus. Am gewöhnlichsten entsteht er aus dem Knorpel; aber an manchen Punkten entwickelt er sich unmittelbar aus einer ungeformten, weichen, häutigen Grundlage. Der Knorpel, welcher also in sehr vielen Fällen als eine Entwicklungsstufe des Knochens erscheint, besteht aus einer festen, durchscheinenden Masse (b), in welcher hohle Zellenräume mit Kernen (a) liegen. In diesem Zustande erscheint der Knorpel durchaus als ein unfertiges Gebilde; denn er entbehrt Gefässe und Nerven, welche doch außer den Epithelien sich zwischen alle fertigen Gewebe des Körpers einlagern; und seine feste Zwischensubstanz stellt sich durchaus als eine noch ungeformte, erst bildbare Masse dar. Manche Knorpel bleiben auf dieser Stufe stehen; andere aber entwickeln sich weiter, und ihre Fortbildung wird besonders durch Umwandlungen der Zwischensubstanz bezeichnet. Seltener zerfällt diese, wie beim Bindegewebe, in Fasern, und der Knorpel wird dann zum Faserknorpel. Häufiger ist es, daß sich Gefässe und Nerven in der Zwischensubstanz ausbilden, daß diese überdieß in dünne Blätter sich spaltet, daß die ganze Knorpelmasse von Kalksalzen durchsetzt wird, mit Einem Worte, daß der Knorpel verknöchert.



Wenn in der Zwischensubstanz der Knorpel Blutströmchen entstehen, so führen diese aus benachbarten Gefässen neue Stoffe zu, und der Knorpel erleidet nicht blos in seiner Zwischensubstanz, sondern auch in seinen Zellenräumen bedeutende Verän-

Digitized by Google

derungen. Wir haben bei den Pflanzenzellen die Verdickung der Zellenhüllen geschildert, welche durch Auflagerung neuer Schichten an der inneren Zellenoberfläche hervorgebracht wird (II. 122). Wir haben ebenso gezeigt, daß die verdickten Wandungen von engen, bisweilen verzweigten Kanälen durchsetzt werden, welche bis zur ursprünglichen Zellenmembran vordringen. Dieser Verdickungsproceß wiederholt sich an den Zellen der verknöchernden Knorpel. Auch hier entstehen Kanäle, welche von der engen, übriggebliebenen Zellenhöhle nach allen Seiten ausstrahlen. Aber außerdem verschmilzt hier die verdickte Zellenwandung fest mit der Zwischensubstanz, und in der letzteren entstehen durch Zerklüftung feine Kanälchen, welche mit den Ausläufern der Knorpelzellen zu einem feinmaschigen Netze zusammenschmelzen. So kommt jenes Ansehen zu Stande, das alle wahren Knochen auszeichnet: eine durchscheinende Substanz, in welcher undurchsichtige, längliche, mannigfach verzweigte Höhlen eingelagert sind. Neben dieser feineren Zerklüftung erfährt die Zwischensubstanz in der Regel noch eine Spaltung in dünne Platten, welche in concentrischen Schichten um die Gefäßkanäle der Knochen herumliegen. Endlich kann diese Zwischensubstanz auch in den Knochen bei krankhaften Zuständen einen fasrigen Bau annehmen.

Es ist wichtig, die Analogie hervorzuheben, welche zwischen den festesten Theilen der Thiere und Pflanzen besteht. Dort, wie hier, wird diese Festigkeit durch Verdickung der Zellenwandungen erreicht. Holzzellen und Knochenzellen erleiden also zu entsprechenden Zwecken auch entsprechende Umwandlungen. Dazu kommt aber, daß in den Skeleten der Thiere ebenso, wie in den härtesten Pflanzentheilen, sich mineralische Substanzen in besonderer Menge ablagern. Kohlensaurer, vorzüglich aber phosphorsaurer Kalk tränken die ganze Masse der neuentstandenen Knochen, und zwar ebenso die Zwischensubstanz, als die Reste der Knorpelzellen. So wird die Verknöcherung der Knorpel

Digitized by Google

vollendet; aus ihren Zellen werden die verzweigten Knochenhöhlen, aus ihrer Zwischensubstanz theils Gefäßkanäle, theils eine mannigfach zerklüftete und in dünne Platten zerfallende Masse, überhaupt aber aus den weichen, biegsamen und elastischen Knorpeln feste, harte und spröde, mit Kalksalzen getränkte Knochen.

Wir begnügen uns mit dieser Schilderung der Knochenbildung aus Knorpeln. Der Sinn und die Bedeutung dieses Processes tritt schon klar vor Augen, und jedes einzelne Moment desselben schließt sich an verwandte Vorgänge im pflanzlichen oder thierischen Leben an. Wir nehmen nicht etwa an, daß Knorpel oder Knochen aus Bindegewebe wirklich entstehen; aber wir glauben, daß aus derselben bildbaren Grundlage das eine Mal Theile des Skelets, das andere Mal Fettzellen, elastische und Bindegewebfasern sich herausbilden. Es entsteht nun die Frage, ob Knochen und Knorpel blos an der Stelle des Bindegewebes oder auch an der Stelle anderer Gewebe auftreten können. Bei den Wirbelthieren scheint dieses nicht möglich; aber bei den wirbellosen Thieren dürfte es am Platze sein, die Frage aufzuwerfen, ob nicht in dem Epithelium, das die äußere Körperoberfläche bedeckt, sich mineralische Substanzen ablagern, und so die Bildung einer harten Schale vermitteln. Wir sprechen hier nicht von den Insekten, Spinnen oder Krebsen, deren äußere Skelete in Bezug auf ihren feineren Bau noch sehr wenig erforscht sind. Aber die Gehäuse der ein- und zweischaligen Muscheln erinnern an die Oberhaut der höheren Thiere durch ihren schichtenweisen Absatz aus den Säften, welche die äußere Haut, der sogenannte Mantel der Weichthiere absondert. Wie bei den Wirbelthieren an der Stelle des Bindegewebes Knorpel und Knochen auftreten, so würde bei jenen Wirbellosen die Oberhaut durch eine kalkreiche, geschichtete Schale ersetzt. Die feinere Struktur dieser Schalen ist gleichfalls noch nicht genügend untersucht.

Wir stehen am Ende der Schilderung der thierischen Formelemente. Nerven und Blut, Muskel und Drüsen übernehmen

Digitized by Google

die centralen und die peripherischen Seiten der thierischen Lebensthätigkeit. Die räumliche Verbindung der einzelnen Organe wird durch Bindegeweb, elastisches Geweb und Fettzellen, die Abgränzung der Oberflächen durch die Epithelien vermittelt. Wo endlich der Körper Festigkeit bedarf, sei es zum Schutze nach außen oder zur Fixirung seiner Form nach innen, da lagern sich mineralische Stoffe und namentlich Kalksalze in den Zwischenräumen der Organe oder an der Körperoberfläche ab. So ist für jeden Zweck des Thieres durch eine besondere Seite seiner Struktur gesorgt; bis in die feinsten Theile des Organismus dringt der Einfluß jenes gestaltenden Principes, welches den Körper harmonisch mit den Lebensthätigkeiten äußerlich und innerlich formt. Jeder besonderen Seite der thierischen Lebensthätigkeit entspricht also ein besonderes, durch seinen Bau charakterisirtes, organisches System. Diese Systeme können wohl verschiedene Formelemente umfassen, wie das Blutsystem Körperchen und Plasma, das Nervensystem Ganglienkugeln und Fasern; aber sie stellen doch die Grundformen dar, aus welchen die einzelnen Organe und der ganze Körper des Thieres sich aufbaut, und als Grundzüge der innern Gestalt entsprechen sie den fundamentalen Thätigkeitsweisen des Thieres.

Es ist im Einzelnen gezeigt worden, wie die Formelemente der verschiedenen Systeme den Thätigkeiten entsprechen, welche jenen Systemen übertragen sind. Man muß überdieß hoffen, daß mit dem Fortschreiten der Wissenschaft die Beziehungen zwischen Bau und Thätigkeit sich noch immer klarer und bestimmter herausstellen werden. Aber diese Harmonie drückt nur die eine Seite der Sache aus; sie zeigt nur, wie für die Mannigfaltigkeit der Thätigkeiten sich überall mannigfaltige Formelemente finden. Dieser Mannigfaltigkeit tritt hier, wie überall im Organischen, das Gesetz der Einfachheit oder Oekonomie gegenüber (II. 205). Die einzelnen Formelemente des Thierkörpers gehen alle aus der Zelle hervor, welche ja überhaupt den Grundtypus alles Organischen darstellt. Dieses kann gar

nicht bezweifelt werden bei den Drüsenzellen, Ganglienkugeln, Fett- und Epithelialzellen, welche den Zellencharakter aufs deutlichste bewahrt haben. Aber auch von mehreren andern Formelementen ist die Entwicklung aus Zellen beinahe bewiesen. So scheinen die Nervenfasern und die primitiven Muskelbündel aus Zellenreihen zu entstehen, welche in Einer Richtung mit einander verschmelzen; ihre Entstehung stimmt also mit der Bildung der pflanzlichen Gefässe offenbar überein. So entwickeln sich die elastischen Fasern ohne Zweifel durch Verlängerung und Verschmelzung von Zellenkernen, während die eigentlichen Bindegewebfasern aus der übrigen Masse der primitiven Zellen hervorgehen. Nur vom Blute ist es noch nicht sicher anzugeben, in welchem Verhältniß seine Körperchen und sein Plasma zu den Bestandtheilen der ursprünglichen Zellen stehen.

Aus der einfachen Zelle also entwickeln sich alle verschiedenen Formelemente des thierischen Körpers. Diese abgeleiteten Formen prägen sich hier viel schärfer aus, als in der Pflanze; und dieses entspricht ganz der bestimmteren Vertheilung der einzelnen Seiten der Lebensthätigkeit im thierischen Organismus. Hier ist also die Mannigfaltigkeit viel größer gegenüber von der Einheit; aber zugleich erscheint diese Einheit mächtiger, weil sie alle die mannigfaltigen Einzelformen noch fest unter ihrem Gesetze zusammenhält.

Sollen wir hier noch einmal die Frage aufwerfen, ob die Thätigkeit Folge der Gestalt, oder die Gestalt Folge der Thätigkeit der Gewebe sei? Freilich entwickelt sich die Form des Gewebes, noch ehe die eigenthümliche Thätigkeit desselben beginnt, und in so fern hängt die Form nicht von der Thätigkeit ab, geht ihr vielmehr voraus. Aber umgekehrt finden sich in niederen Thieren die einzelnen Seiten der Lebensthätigkeit schon ausgebildet, ohne daß die entsprechenden Gewebe während der ganzen Existenz des Thieres aus der Grundsubstanz desselben hervortreten; hier besteht also die Thätigkeit ohne und vor dem Gewebe. Es bleibt, um diesen Widerspruch zu versöhnen,

Digitized by Google

nichts übrig, als, wie wir schon früher für den Organismus gethan haben, das Princip der Gestalt und das Princip der Thätigkeit im Thiere als selbständige Principien anzuerkennen. Beide harmoniren, wirken gegenseitig auf einander ein; aber jedes verfolgt seinen eigenen Weg, und ihre Harmonie ist keineswegs aus ihrer Wechselbeziehung zu erklären. Vielmehr deutet die Harmonie hier, wie überall, auf den höheren, göttlichen Ursprung hin. Gott hat jedes thierische Individuum als ein geschlossenes Ganzes erschaffen; innerhalb dieses Ganzen hat er ihm eine bestimmte Gestalt und Thätigkeit verliehen. Jede dieser beiden Seiten verfolgt ihre eigenen Gesetze; aber vermöge ihrer ursprünglichen Verbindung im Individuum stehen sie in einer höchst innigen und vielseitigen Harmonie. Aus der schöpferischen und erhaltenden Weisheit Gottes kann allein die Uebereinstimmung zwischen der Gestalt und Thätigkeit der organischen Systeme begriffen werden; aus der göttlichen Weisheit begreift sich auch allein der große Reichthum der Formen, welcher in den Geweben aus dem einfachen Zellentypus sich hervorbildet.

Was wir hier gesagt haben, ist nur eine Wiederholung, eine Bekräftigung und Erweiterung früherer Sätze. Die Zweckmäßigkeit der einzelnen Gewebformen für die organischen Thätigkeiten tritt im Thier viel deutlicher hervor, als in der Pflanze. Ein ähnliches Verhältniß wird sich bei den zusammengesetzten Organen zeigen, zu deren Schilderung wir jetzt von den Formelementen übergehen.

---

3) **Die zusammengesetzten Organe der Thiere.** Das Ganze des thierischen Körpers zerfällt nicht unmittelbar und geradezu in die organischen Systeme; sondern zwischen diesen beiden Endpunkten treten noch die Organe als eine Mittelstufe auf. Jedes Organ enthält eine gewisse Summe von mikroskopischen Formelementen, und aus einer bestimmten Zahl von Organen besteht wiederum der ganze thierische Körper. Gegenüber von den Formelementen verhalten sich die Organe so, daß

Digitized by Google

ein einzelnes Organ, z. B. ein Arm, ein Bein, oder der Magen, die Leber, das Gehirn, nicht blos einerlei Formelemente enthalten, sondern daß sie immer aus mehreren zusammengefügt sind. Insbesondere fehlen in keinem Organ Blutströme oder Nervenelemente, d. h. Theile von jenen centralen Systemen, welche die Mittelpunkte für den Stoffwechsel und die physikalische Thätigkeit der Thiere darstellen. Trotz diesem gemischten Bau der Organe herrscht aber doch in jedem ein einzelnes System vor, so in den Armen und Beinen die bewegenden Muskel, im Magen und in der Leber die absondernden Drüsen, im Gehirn die bewegenden und empfindenden Nervenelemente. Dieses vorherrschende System gibt dem Organe seinen Charakter und seine Stellung im Ganzen des Organismus.

Es kommen also durch die Bildung der Organe im Wesentlichen keine neue Thätigkeiten zum Vorschein; sondern die Organe bewirken nur, daß die fundamentalen Thätigkeiten in die volle Wirklichkeit treten, indem sie jene Combination der Thätigkeiten herstellen, welche zum Zustandekommen jeder einzelnen organischen Thätigkeit nothwendig ist. Jede Thätigkeit ruht ja nicht blos auf sich, sondern bedarf anderer als ihrer Stützen, und eben diese Stützen werden mit der tonangebenden Thätigkeit in einem Organe zusammengefaßt. So bedürfen die Muskel unserer Extremitäten und die absondernden Zellen der Leber Nerven und Blutgefässe, so bedarf der Magen außerdem noch Muskelfasern, so bedarf endlich selbst das centrale Gehirn Blutgefässe, um die Thätigkeiten, welche jene Organe vertreten, auch wirklich auszuführen. Außerdem aber, daß jedes Organ eine bestimmte Thätigkeit mit den anderen, welche ihr als Stütze dienen, vermittelt, wird eben durch diese Combinirung von Thätigkeiten in den Organen wieder der Grund zu einer neuen Mannigfaltigkeit gelegt. Die Verbindung des dominirenden Systemes mit den untergeordneten Systemen kann nicht blos in Einer Weise geschehen, und so kommt es, daß eine und dieselbe Thätigkeit in mehreren Organen, aber immer wieder unter neuen

Digitized by Google

Nebenumständen, also mit neuen Modifikationen auftritt. So wirken die Muskel nach außen vorzüglich in den Extremitäten; aber je nach der verschiedenen Combination ihrer Bestandtheile treten die Extremitäten bald als Arme, bald als Beine, bald als Flügel auf. So haben Leber und Niere das System der Drüsenzellen gemeinschaftlich; aber die Zusammensetzung beider Drüsen ist verschieden, und die eine entzieht daher auch dem Blute nicht dieselben Bestandtheile, wie die andere; die eine bereitet Galle, die andere Urin.

Auf einer höheren Stufe gewinnen wir hier wieder die Verbindung des Einen und des Mannigfaltigen. Wie in den Geweben die Zelle die allgemeine Grundlage der Gestalt und Thätigkeit bildet, so wird das gemeinsame Band der Organe durch die organischen Systeme hergestellt. Diese Parallele kann noch mehr ins Einzelne geführt werden. Bei den Pflanzen fehlt die bestimmte Begränzung der Organe so gut, als die scharfe Ausprägung der einzelnen Systeme, und ebenso tritt bei den niedersten Thieren Organ und Gewebe zu gleicher Zeit hervor. Diese Gleichzeitigkeit gilt insbesondere für die inneren Formelemente und die äußeren Organe oder Extremitäten. Bei den Protozoen fehlen beide gleichmäßig; aber von den Polypen bis zu den höchstorganisirten Wirbelthieren schreitet die Ausbildung der Gewebe und der Organe zu immer größerer Vollkommenheit weiter.

Es ist nicht schwer, die hauptsächlichen Organe kurz zu bezeichnen. Auf der Seite des Stoffwechsels stehen die Organe des Kreislaufes, die Gefässe mit der in ihnen enthaltenen Blutflüssigkeit, dann die Absonderungsorgane oder die Drüsen, endlich die Organe, welche für die Erneuerung des Blutes sorgen, nämlich die Organe der Verdauung und der Athmung. Auf der Seite der physikalischen Thätigkeit finden sich zuerst die Organe des Nervensystems, dann die Bewegungsorgane und endlich die eigenthümlichen Apparate, welche die Ueberführung der äußeren Eindrücke auf die Nervenfasern vermitteln, d. h. die

Digitized by Google

Sinnesorgane. Wir werden diese Organe nach einander schildern. Bei jedem einzelnen wird sich die chemische und physikalische Zweckmäßigkeit seiner Einrichtung in auffallender Weise ergeben. Aber außer den eigentlichen Organen muß immer noch auf etwas Weiteres Rücksicht genommen werden, nämlich auf die allgemeine Leibeshöhle der Thiere. So lang das Thier im Innern keine besonderen Organe unterscheiden läßt, ist sein ganzer Körper gleichmäßig von organischer Masse erfüllt. Aber mit der Ausscheidung der inneren Organe entstehen Zwischenräume, welche diese von einander trennen. Sie sind, wie alle inneren Oberflächen, von Epithelium ausgekleidet und mit Flüssigkeiten in verschiedenem Maaße erfüllt. Diese Zwischenräume stellen bei den höchsten Thiere die Bauchhöhle dar, in welcher die Baucheingeweide frei und beweglich aufgehängt sind; sie bilden die Brusthöhle und die Höhle des Herzbeutels, in welchen Lungen und Herz frei hin- und hergleiten. Wir werden diese Zwischenräume als allgemeine Leibeshöhle eine verschiedene Bedeutung für das Leben der Thiere gewinnen sehen.

Wir beginnen die Reihe der Organe mit den Verdauungsorganen, als der Eingangspforte aller jener Substanzen, welche das Thier zu seinem Bestehen bedarf. Am Schlusse sollen alle Organe noch einmal so zusammengefaßt werden, daß ihr Beitrag zum allgemeinen Leben des Thieres deutlich hervortritt.

A. Die Organe der Verdauung.

Wir haben schon früher es als einen wichtigen Charakter der Thiere bezeichnet, daß sie die Nahrungsmittel nicht, wie die Pflanzen, geradezu aufnehmen, sondern dieselben vorher durch ihre eigenen Absonderungsstoffe verändern und zur Aufnahme vorbereiten. Diese thierische Verdauung bezweckt zunächst die Verflüssigung der Nahrungsstoffe; denn diese sollen nach den Gesetzen der Endosmose durch oberflächliche Häute ins Innere des Thierkörpers eindringen. Aber es scheint, daß zur Ver-

Digitized by Google

dauung überdieß immer eine chemische Umwandlung der Nahrungsstoffe gehört.

Um diesen Bedingungen zu genügen, ist eine bestimmte, physikalische und chemische Beschaffenheit der Verdauungssäfte durchaus nothwendig. Vor allem gehört dazu Wasser, um die aufgenommene Nahrung zu verdünnen, um Stoffe, die an sich löslich sind, wie z. B. Zucker, unmittelbar aufzunehmen und in die Säftemasse überzuführen. Dieses Wasser wird theils mit den Nahrungsmitteln selbst verschluckt, theils erst an der Oberfläche der Verdauungsorgane abgesondert. Dazu kommen aber noch die wichtigeren, chemisch wirkenden Bestandtheile der Verdauungssäfte. Nach der Art der Nahrung müssen diese in zwei Gruppen gespalten werden; die einen bereiten die stickstoffhaltigen, die andern die stickstofflosen Nahrungsmittel zur Aufnahme vor. Wir kennen alle diese Verdauungssäfte bis jetzt nur bei den Säugethieren genauer, und was wir hier beibringen, gilt daher immer zunächst von dieser höchsten Thierklasse. Doch versuchen wir, die Resultate der Beobachtung so allgemein auszudrücken, daß sie in dieser Weise auch für die andern Thierklassen Geltung finden dürften.

Die *stickstofflosen* Bestandtheile der Nahrungsmittel gelangen an die Verdauungsoberfläche der Thiere selten im löslichen oder gelösten Zustande; Dextrin und Zucker sind nicht die Formen, in welchen sie vorzüglich als Bestandtheile der Nahrung auftreten. Meistens enthalten die pflanzlichen Nahrungsmittel die stickstofflosen Stoffe unter der Form des *Stärkmehles*. Es begreift sich, daß dieses, da es in Wasser nicht löslich ist, auch als solches nicht durch die Wandungen der Verdauungshöhle durchtreten kann. Es muß, um aufgenommen zu werden, in lösliche Stoffe übergehen; es muß sich in Dextrin und Zucker verwandeln. Dieß ist die erste Nothwendigkeit, daß von den Häuten des Nahrungskanales eine Flüssigkeit abgesondert werde, welche das Stärkmehl auf dieselbe Weise, wie in der Keimung, verflüssigt.

Digitized by Google

Wenn man in dem Nahrungskanale der höheren Thiere und des Menschen nach einer solchen Absonderung sucht, so begegnet dem Beobachter gleich am oberen Eingange der Speichel, welcher von eigenen Drüsen an den Seiten und auf dem Boden der Mundhöhle abgesondert wird. Er enthält sehr wenige feste Bestandtheile, doch neben einigen mineralischen Stoffen, wie Kochsalz, auch eine eiweißartige Substanz; er reagirt schwach alkalisch. Dieser Speichel vermag für sich das Stärkmehl nicht zu verändern; aber sobald er mit dem Schleime der Mundhöhle gemischt ist, führt er das Stärkmehl langsam in Zucker über. Was hier, am Eingange, der Mundspeichel beginnt, das wird in höherem Maaße durch die Absonderung der großen Bauchspeicheldrüse fortgeführt, welche sich in der Bauchhöhle, in der Nähe des Magens befindet und ihren Saft in die Höhle des Darmkanales entleert. Auch dieser Bauchspeichel ist alkalisch; aber er enthält viel mehr eiweißartige Substanz aufgelöst, als der Speichel der Mundhöhle. Diese Substanz scheint namentlich die Ursache zu sein, daß der Bauchspeichel die Umwandlung des Stärkmehls in Zucker mit besonderer Energie bewirkt. So tragen in den höheren Thieren zwei Drüsen an entfernten Stellen des Darmrohres zur Verflüssigung des Stärkmehles bei. Man hat die Absonderung jener Drüsen erst in neuerer Zeit näher kennen gelernt. Aber es scheint, daß diese Eigenschaft nicht ausschließlich den Säften der verschiedenen Speicheldrüsen zukommt. Die Schleimhaut des Darmkanales enthält nämlich in ihrer ganzen Länge, vom Magen an zahlreiche, kleine, theils einfache, theils verzweigte Drüsen, welche einen bis jetzt noch wenig bekannten Darmsaft absondern; auch dieser besitzt nach den neuesten Beobachtungen die Fähigkeit, Stärkmehl in Zucker umzuwandeln.

Für die Verflüssigung des Stärkmehles ist also durch mehrere Absonderungen gesorgt; es scheinen namentlich alkalische, durch eine eiweißartige Substanz ausgezeichnete Säfte diese Umwandlung zu übernehmen. Während aber diese Seite der

Digitized by Google

Verdauung jetzt schon vielfach aufgeklärt ist, wissen wir noch fast gar nichts über die Einführung anderer stickstofflosen Substanzen, nämlich der Fette, ins Innere des Thierkörpers. Da nämlich die thierischen Gewebe überall von wäßrigen Flüssigkeiten getränkt sind, so kann flüssiges Fett, nach den Gesetzen der Endosmose, nicht als solches durch die thierischen Häute durchgehen (II. 35). Es wurde daher angenommen, daß die Fette der Nahrung sich im Darmkanale verseifen, d. h. daß die Fettsäuren, welche sie enthalten, mit den Alkalien gewisser Absonderungsstoffe Verbindungen eingehen, welche gleich den gewöhnlichen Seifen in Wasser löslich sind. Für diese Verseifung schienen sich am besten die Alkalien, das Kali und Natron der Galle darzubieten. Diese ist, wie schon öfters bemerkt wurde, das Absonderungsprodukt der Leber. Sie enthält neben ihrem Farbstoffe und Fette besonders eine harzähnliche Säure, die Cholsäure, und diese ist innig gepaart mit zwei stickstoffhaltigen Substanzen, dem Glycin und Taurin, von welchen das letztere sich überdieß durch seinen Schwefelgehalt auszeichnet. Die zwei gepaarten Säuren, die Glykocholsäure und die Taurocholsäure sind ferner an Kali und Natron gebunden, und diese Alkalien sollten in der Verdauung die Verseifung der Fette bewirken. Diese Ansicht ist weder entschieden widerlegt, noch zur Genüge bewiesen; wir führen sie an, weil sie bis jetzt allein den Durchgang der Fette durch die Darmwandungen zu erklären vermag.

Es bleibt uns noch die Erklärung des Processes übrig, durch welchen die Aufnahme der stickstoffhaltigen Bestandtheile der Nahrung möglich gemacht wird. Während wir sonst die Veränderungen der stickstoffhaltigen Substanzen überhaupt nur sehr unvollkommen kennen, so ist gerade der Proceß ihrer Verdauung durch die Untersuchungen neuerer Beobachter besonders aufgeklärt worden. Es ist bei den höheren Thieren der Magensaft, welcher dieses Geschäft fast allein übernimmt. Wir lernten den Mundspeichel und den Bauchspeichel als alka-

Digitized by Google

lische Flüssigkeiten kennen. Der Saft hingegen, welcher von den einfachen, cylindrischen Drüsen der Magenschleimhaut abgesondert wird, ist schon seit längerer Zeit wegen seiner sauren Eigenschaften bekannt. Diese saure Beschaffenheit wird ihm wohl allein durch freie Milchsäure verliehen. Außerdem enthält er viel Kochsalz und eine organische, stickstoffhaltige Substanz, welche noch wenig bekannt, aber als Pepsin, d. h. als das eigentliche Verdauungsprincip beschrieben worden ist. Wenn Eiweißstoff oder Käsestoff gelöst in den Magen gelangen, so werden sie, namentlich der letztere, durch den Magensaft gefällt; aber es folgt dieser Fällung eine neue Lösung, und auf dieselbe Weise werden Faserstoff, Eiweißstoff und Käsestoff gelöst, wenn man sie in festem Zustande mit der Magenschleimhaut in Berührung bringt.

Die Milchsäure des Magensaftes, verbunden mit dem Pepsin, wirkt offenbar auf jene stickstoffhaltigen Nahrungsmittel in ähnlicher Weise, wie der alkalische Bauchspeichel auf das Stärkmehl der Nahrung. Dieser Pflanzenstoff geht mit sehr geringer Veränderung in lösliche Substanzen über; und auch in den eiweißartigen Bestandtheilen der Nahrung scheint der Magensaft nicht nur eine Verflüssigung, sondern eine leichte chemische Umsetzung zu bewirken. Lehmann faßt die Stoffe, welche im Magen aus den eiweißartigen Substanzen und aus Leim entstehen, unter dem Begriffe der Peptone zusammen. Diese zeichnen sich alle durch eine bedeutende Löslichkeit vor den Stoffen aus, von welchen sie abstammen. In dieser löslichen Form gehen sie in die Säftemasse der Thiere über. Es scheint, daß in dieser umwandelnden Kraft des Magensaftes auch der Darmsaft Theil nimmt; er verdaut nach Bidder die eiweißartigen Stoffe so gut als der Magen. Er vereinigt also die Eigenschaften der Sekrete der Speicheldrüsen und der Magendrüsen.

In den Verdauungsorganen der Thiere geht offenbar ein chemischer Proceß von eigener Art vor sich. Er wird eigenthümlich durch die Absonderungsstoffe, welche ihn einleiten, und

Digitized by Google

welche nur von den Drüsen des Thierkörpers, aber nicht auf künstliche Weise erzeugt werden können. Darum folgt aber dieser Proceß doch den allgemeinen Gesetzen der chemischen Affinität. Seine einzelnen Stadien sind noch nicht näher bekannt; aber so viel weiß man sicher, daß zu der Verdauung nichts nothwendig ist, als die Einwirkung der Darmsäfte auf die Nahrungsmittel bei etwas erhöhter Temperatur. Die Nähe des thierischen Körpers ist hiebei nur in so ferne nothwendig, als er die Absonderungen liefert. Wenn man diese sammelt, so werden die Speisen mit ihrer Hilfe eben so gut in einer Retorte, als im Darmkanale, aufgelöst. In der Wirkung dieser Absonderungen begegnen wir einer Zweckmäßigkeit, wie sie in der Pflanze nur vereinzelt, im Thiere aber an allen Oberflächen sich darstellt. Die Säfte, welche das Thier absondert und in seine Verdauungsorgane entleert, passen ganz dazu, eine zweckmäßige chemische Umwandlung der Nahrungsmittel einzuleiten. Aber sie sind nicht blos im Allgemeinen chemisch so beschaffen, daß sie die stickstofflosen und die stickstoffhaltigen Substanzen auflösen; sondern auch im Einzelnen richten sie sich nach der aufgenommenen Nahrung; ihre Menge steigt mit der größeren Masse der Nahrungsstoffe. Endlich wirken sie anderen Umwandlungen der Nahrung, insbesondere der Fäulniß entgegen; es ist besonders die Säure des Magensaftes, welche die Speisen nicht faulen läßt, so lange noch Nahrungsstoffe aus ihnen aufgenommen werden können. Offenbar paßt der innere chemische Proceß der Thiere in der Verdauung genau zu den Stoffen, welche sich von außen als Nahrungsmittel darbieten. Organismus und Außenwelt sind hier in völliger Harmonie.

Die Säfte, welche die chemische Umwandlung der Nahrungsstoffe bewirken, werden nicht geradezu von der Oberfläche des Nahrungskanales abgesondert. Es sind, wie wir gezeigt haben, besondere Gebilde, nämlich Drüsen, welche die Bereitung jener Säfte übernehmen. Auch diese Drüsen sind aber nicht alle von einerlei Art; wir haben die Mund- und Bauch-

Digitized by Google

speicheldrüsen, die Leber, die Magendrüsen und die einfachen Darmdrüsen unterschieden. Der Eine Proceß der Verdauu ng nimmt also zur Ausführung seiner verschiedenen Seiten verschiedene Organe in Anspruch. Und fast jede der eben genannten Drüsen übernimmt gerade Einen Theil des chemischen Vorganges der Verdauung; der Mund- und der Bauchspeichel lösen das Stärkmehl auf; die Galle bereitet die Fette, der Magensaft die eiweißartigen Stoffe zur Aufsaugung vor. Neben diesen Absonderungen steht aber der Darmsaft, das Sekret der einfachsten Drüsen der Darmschleimhaut; er scheint fähig zu sein, sowohl Stärkmehl als eiweißartige Stoffe aufzulösen. In diesem Beispiele stellt sich eines der wichtigsten Gesetze der thierischen Organisation dar. Jede einzelne Seite des Verdauungsprocesses findet für sich ihren besonderen drüsigen Apparat; aber keiner der letzteren ist für die Verdauung unumgänglich nothwendig; die einfachen Darmdrüsen sondern Säfte ab, welche, wenn auch mit geringerer Energie, die übrigen Verdauungssäfte zu ersetzen vermögen.

In den höheren Thieren selbst steht also die feinere Gliederung und die einfachere, weniger bestimmte Ausbildung der Verdauungsapparate neben einander. Je mehr man sich aber von diesen höheren Thieren entfernt und den niederen Thierformen nähert, desto mehr verschwinden allmählig die besonderen Drüsen, und es bleibt nichts übrig, als eine gleichförmige, drüsige Verdauungsoberfläche. Insbesondere findet sich eine Bauchspeicheldrüse nur bei den Wirbelthieren. Mundspeicheldrüsen sind häufiger; sie fehlen selbst den Eingeweidewürmern und den Stachelhäutern nicht ganz. Auch die Leber kommt in diesen zwei niederen Thierklassen noch in einzelnen Andeutungen vor. Die Magendrüsen endlich sind zu klein und zu wenig ausgeprägt, als daß ihre Verbreitung leicht zu bestimmen wäre; doch darf man bei ihrer bedeutenden Wichtigkeit vermuthen, daß sie auch noch bei niederen Thierformen vorkommen. Die Verdauungshöhle der Polypen aber erscheint nur als ein einfacher Sack,

Digitized by Google

in dessen Wänden sich keine besonderen Absonderungsorgane mehr unterscheiden lassen.

Wenn wir bei den Polypen die einfachste Form des Verdauungsapparates annehmen, so denken wir diesen Apparat im Allgemeinen als eine Höhle, von deren Wandungen verflüssigende Säfte abgesondert werden. Dieser allgemeine Ausdruck paßt auch für die Verdauungsorgane der höchsten Thiere. Wie nun jede Oberfläche des Thierkörpers durch eine Schichte von Epithelialzellen nach außen begränzt ist, so fehlt das Epithelium auch der Verdauungsoberfläche bei keinem Thiere, dessen Gewebe schärfer ausgeprägt sind. Dieses Epithelium schützt den Thierkörper vor der schädlichen Einwirkung der chemischen Processe, welche an der Verdauungsoberfläche vorgehen; es schützt ihn insbesondere vor der Beeinträchtigung durch die Verdauungssäfte, welche er selbst abgesondert hat. Es scheint, daß im Processe der Verdauung jenes Epithelium selbst allmählig abgestoßen und zersetzt wird; es treten neue Zellen an die Stelle der abgestoßenen; aber die letzteren bilden mit den Säften des Darmkanals die Flüssigkeit, welche man Schleim nennt. Die Zusammensetzung des Schleimes ist noch wenig gekannt; aber jedenfalls schützt er alle Oberflächen, von welchen er gebildet wird, und an der Verdauungsoberfläche scheint er überdieß zu der Verflüssigung der Speisen auch das Seinige beizutragen.

Mit der Nahrungshöhle der Polypen sind wir übrigens noch nicht bei der allereinfachsten Form des Verdauungsapparates angekommen. Es gibt Thiere, bei welchen auch eine solche einfache Höhle fehlt, welche die Nahrung mit ihrer äußeren Körperoberfläche aufnehmen. Diese Unvollkommenheit findet sich bei einigen Eingeweidewürmern, so bei den Bandwürmern. Sie hängt hier mit dem Aufenthalte dieser Thiere zusammen; die Bandwürmer und die ihnen verwandten Blasenwürmer erscheinen als wahre Schmarotzer, welche ihre Nahrung nicht selbst verdauen, sondern schon verflüssigte Stoffe theils aus dem Darmkanale, theils aus den inneren Körperorganen anderer

Digitized by Google

Thiere aufsaugen. Auch bei den Protozoen fehlt die Verdauungshöhle; aber hier hat dieser Mangel eine andere Bedeutung; er hängt hier mit der geringen Ausbildung der Gewebe und Organe, mit der zellenähnlichen Form dieser Thiere zusammen. Bei der einen Gruppe der Protozoen, bei den Wurzelfüßern, besteht der Körper aus einer weichen, gallertartigen Masse, welche verschiedenartige Formen annimmt, fingerartige Fortsätze bald ein- bald ausstülpt. Diese Wurzelfüßer saugen nicht blos Flüssigkeiten ein, sondern sie vermögen auch festere Stoffe zu verdauen. Ihr Körper schmiegt sich den Klümpchen von festerer Masse innig und allseitig an; er nimmt sie so an irgend einer beliebigen Stelle in sein Inneres auf und hält sie hier fest, bis die Nahrung aufgelöst und in die Körpersubstanz aufgenommen ist. Aehnlich verfahren einige von der zweiten Gruppe der Protozoen, von den eigentlichen Infusorien. Diese besitzen einen kurzen Schlund; aber im Grunde des Schlundes fehlt die Verdauungshöhle, und an dieser Stelle werden jetzt die Nahrungsstoffe, wie bei den Wurzelfüßern, in die weiche Körpermasse hineingedrängt und im Innern dieser Masse aufgelöst. Andere Infusorien endlich saugen nur mit ihrer Oberfläche flüssige Stoffe auf; sie sind über die Urform der Zelle nicht hinausgekommen.

Von diesem völligen Mangel einer wirklichen Verdauung ist es nothwendig, noch einmal zu der höchsten Ausbildung dieses Processes aufzusteigen. Die Verdauung fehlt, außer einigen Eingeweidewürmern, nur da, wo das Thier sich überhaupt nicht über die Stufe der Zelle erhebt. In ihrer einfachsten Weise bedarf die Verdauung kein eigenes Organ; jede Stelle des Körpers vermag die Nahrungsstoffe zu verflüssigen. Bei den Polypen folgt eine eigene, für den Verdauungsproceß bestimmte Höhle; aber ihre Wandungen liefern alle Säfte, welche zur Verdauung nothwendig sind. Endlich gliedern sich auch diese Wandungen, und besondere Drüsen entstehen für die einzelnen Seiten des Processes. So scheidet sich zuerst aus der allge-

Digitized by Google

meinen Körpermasse das besondere Organ und dann aus dem einfachen Organe die besonderen Apparate aus; der Zweck bleibt aber bei der einfachsten, wie bei der zusammengesetztesten Bildung derselbe, nämlich die chemische Veränderung der Nahrungsmittel, ihre Vorbereitung zur Aufnahme in die thierische Säftemasse.

Bei der Schilderung der Verdauungsorgane haben wir bis jetzt nur die eine Seite derselben ins Auge gefaßt, nämlich ihre chemische Einwirkung auf die Nahrungsstoffe. Aber die Thätigkeit dieser Organe hat noch eine zweite, fast eben so wichtige Seite. Die Nahrungsmittel müssen nicht blos in die Verdauungshöhle gebracht, sondern auch an den Wänden dieser Höhle vorüberbewegt werden. Die chemische Einwirkung der Verdauungssäfte wird durch die mechanische Fortbewegung der Speisen wesentlich unterstützt. Nur diese Bewegung macht es möglich, daß die Nahrungsmittel alle Punkte des Verdauungskanales berühren, und ebenso, daß alle Theile eines Klumpens von Nahrungsstoffen nach einander mit den verflüssigenden Säften in Berührung kommen. So begreift es sich leicht, daß der Verdauungskanal nicht blos chemische, sondern auch mechanische Apparate, nicht blos Drüsen, sondern auch Bewegungsorgane zur Ausführung der ihm übertragenen Processe bedarf. Wir haben gezeigt, daß von den contraktilen Geweben die schwingenden Wimper die niedere, die Muskelfasern die höhere Stufe einnehmen. In den niederen Thierklassen ist die Oberfläche des Nahrungskanales mit schwingenden Wimpern, mit Flimmerepithelium besetzt; bei den Polypen, Quallen und Stachelhäutern wird auf diese Weise die Nahrung fortbewegt. Dagegen liegt in den höheren Klassen und in der großen Mehrzahl der Thiere eine Muskelschichte außerhalb der Schleimhaut, welche die Nahrungshöhle zunächst umgibt. Diese Schichte enthält theils längs- theils querlaufende Fasern; sie bildet im Ganzen einen cylindrischen Schlauch und schiebt die Speisen in

Digitized by Google

einer solchen Richtung weiter, daß diese alle Stellen der Darmoberfläche berühren.

Auf dem Wege, welchen die Nahrungsmittel nach ihrer Aufnahme zurücklegen, können sie längere oder kürzere Zeit verweilen. Diese Zeitdauer hängt mit der Art der Nahrungsmittel aufs innigste zusammen; je verdaulicher die Nahrung ist, desto kürzere Zeit braucht sie dem Einflusse der auflösenden Säfte ausgesetzt zu sein. Im Allgemeinen wird der Aufenthalt der Nahrungsmittel im Darmkanal durch die Länge des letzteren verlängert, durch seine Kürze abgekürzt. Die verdaulichste Nahrung ist unter allen Umständen die thierische; ihre Mischung liegt der Mischung des thierischen Körpers schon viel näher; ihre nährenden Bestandtheile sind überdieß nicht von schwer löslicher Cellulose eingehüllt. Daher haben Thiere, welche von anderen Wirbellosen oder Wirbelthieren leben, immer einen kürzeren Darmkanal. Die pflanzlichen Nahrungsstoffe hingegen bedürfen zu ihrer Auflösung einer längeren Einwirkung der Verdauungssäfte; denn sie sind theils an sich fester, theils in starre Zellenwandungen eingeschlossen. Darum besitzen pflanzenfressende Thiere im Allgemeinen einen längeren Darmkanal. Diesen Unterschied zwischen Fleischfressern und Pflanzenfressern bemerkt man in sehr vielen Thierklassen, so unter den Insekten bei verschiedenen Käfern, unter den Säugthieren bei den reißenden Thieren und Wiederkäuern. Der Zweck, welcher durch diese Verlängerung des Darmrohres erreicht wird, nämlich die verlängerte Einwirkung der Darmsäfte auf die Nahrungsmittel, wird in manchen Fällen noch durch andere Vorrichtungen unterstützt. Die Verdauung der Körner, von welchen die hühnerartigen Vögel leben, wird vorbereitet durch ihren Aufenthalt in dem Kropfe, d. h. in einer sackartigen Erweiterung, die sich an der vorderen Wand der Speiseröhre befindet.

Bei weitem in den meisten Fällen steht die Länge oder Kürze des Darmkanales mit der Nahrungsweise des Thieres in Zusammenhang. Doch läßt sich manchmal ein solcher Zu-

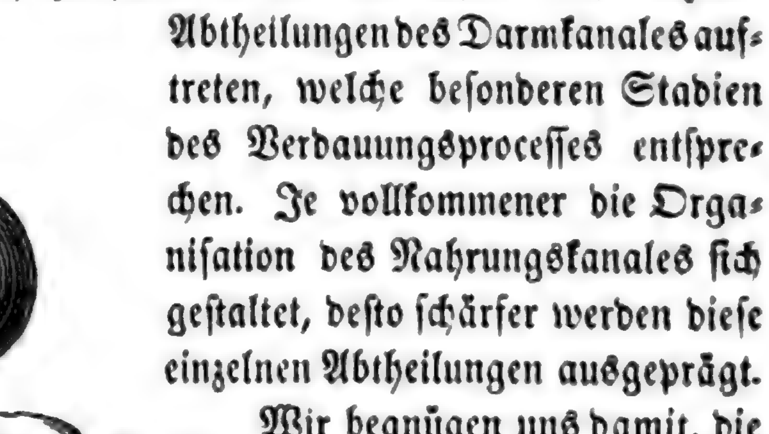
Digitized by Google

sammenhang nicht nachweisen; die Fische z. B. zeichnen sich im Allgemeinen durch eine auffallende Kürze des Darmkanales aus. In anderen Fällen gewinnt die Länge dieses Kanales eine Beziehung zu anderen Eigenthümlichkeiten der Thiere. Der Darmkanal verlängert sich nicht blos, um die Verdauung der vegetabilischen Nahrung möglich zu machen, sondern auch damit die verflüssigte Nahrung so vollständig als möglich aufgesaugt werde. Daher besitzen die Bienen, die Wespen und andere Insekten aus der Abtheilung der Hautflügler, welche thätig und anhaltend für die Aufziehung ihrer Brut sorgen, ein längeres Darmrohr, als die Gallwespen und Schlupfwespen, welche sich nach dem Eierlegen müßig umhertreiben, also nicht viel organische Substanz verbrauchen. Außerdem scheint bei manchen gefräßigen Thieren der Aufenthalt der Nahrung im Darme verlängert zu werden, um diesem Zeit zu lassen, die vielen, auf einmal verschlungenen Nahrungsstoffe zu verflüssigen. So hemmt im Mitteldarme der Haifische eine spiralförmige Klappe die Fortbewegung des Darminhaltes. So dehnt sich bei einigen gefräßigen Insekten, wie bei den Termiten und Maulwurfgrillen, die Speiseröhre zu einer bedeutenden kropfartigen Erweiterung aus. Umgekehrt combinirt sich bei manchen Insekten, wie bei der Wanderheuschrecke, ein kurzer Darmkanal mit großer Gefräßigkeit; da hier die aufgenommene Nahrung nicht genügend ausgezogen wird, so verlangt das Nahrungsbedürfniß eine oftmalige Aufnahme von Nahrungsmitteln.

Es ist die Aufgabe der vergleichenden Anatomie, nachzuweisen, welchen Einfluß die Länge oder Kürze des Darmrohres in jedem einzelnen Falle auf den Proceß der Verdauung ausübt. Aus den angeführten Beispielen geht zur Genüge hervor, wie sehr jene Verschiedenheit mit der Ernährung der Thiere zusammenhängt. Hier haben wir aber noch eine weitere Verschiedenheit des Darmkanales zu erwähnen, welche weniger mit den Zwecken der Ernährung, als mit den allgemeinen Gesetzen der inneren Gliederung des organischen Körpers in Zusammenhang steht.

Digitized by Google

Wenn die Nahrungsstoffe auch noch so vollständig verdaut und ausgezogen werden, so bleibt doch immer ein nicht unbedeutender Theil derselben übrig, welcher, mit thierischen Säften, besonders Galle vermischt, als Excremente wieder ausgestoßen werden muß. Bei den Anthozoen, d. h. bei den eigentlichen, im engeren Sinne so genannten Polypen, stellt die Nahrungshöhle nur einen Blindsack dar, welcher die Excremente durch dieselbe Oeffnung wieder auswirft, durch die er die Nahrung aufgenommen hat. Ebenso bleibt es auch noch bei den Quallen; aber in der Klasse der Stachelhäuter und der Würmer treten sich am Darmrohre zwei Enden gegenüber, der *Mund*, durch welchen die Nahrungsstoffe aufgenommen, und der *After*, durch welchen die unverdauten Stoffe wieder ausgeleert werden. In den höheren Abtheilungen des Thierreiches endlich, bei den Weichthieren, Gliederthieren und Wirbelthieren, fehlen diese beiden Endpunkte des Darmrohres niemals. An der einfachen Verdauungshöhle treten so die ersten Gegensätze hervor. Dazu kommt aber, daß auch zwischen Mund und After noch einzelne



Abtheilungen des Darmkanales auftreten, welche besonderen Stadien des Verdauungsprocesses entsprechen. Je vollkommener die Organisation des Nahrungskanales sich gestaltet, desto schärfer werden diese einzelnen Abtheilungen ausgeprägt.

Wir begnügen uns damit, die Abtheilungen des Darmkanales, wie sie sich in den höchsten Säugthieren und im Menschen darstellen, hier kurz anzugeben. Der Kanal beginnt mit der Mundhöhle, welche die Speisen aufnimmt; in ihr wird die Nahrung mit dem Mundspeichel gemengt. Auf diese Einspeichelung

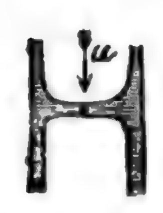
folgt die Verschluckung der Speisen; die Speiseröhre (a) führt sie, ohne wesentliche Veränderung, dem Magen (b) zu. Erst im Magen beginnt die energische Verdauung. Hier wird der Magensaft abgesondert und innig mit dem Speisebrei gemengt; die Verflüssigung der eiweißartigen Stoffe kommt hier großentheils zu Stande. Der Speisebrei wird, nachdem schon ein Theil desselben aufgesaugt worden ist, in die dünnen Gedärme weiterbewegt.

Diese sind bei den höheren Säugthieren sehr lang und so vielfältig gewunden, daß ihr Kanal einen dichten Knäuel darstellt (d), in welchem der Zusammenhang der einzelnen Windungen sich nicht sogleich erkennen läßt. Der Anfang des Dünndarms (c) ist die Stelle, an welcher die Ausführungsgänge sowohl der Leber als der Bauchspeicheldrüse einmünden. Hier werden also dem Speisebrei die Galle und der Bauchspeichel beigemischt, die letzten specifischen Sekrete, welche zur Verdauung der Speisen und besonders der stickstofflosen Nahrungsmittel nothwendig sind. Der Inhalt des Dünndarms ist also zugleich mit Mundspeichel, mit Magensaft, mit Galle und Bauchspeichel getränkt; so kann in den Windungen des Dünndarmes die Verdauung mit der größten Energie vor sich gehen. In diesem Abschnitte des Darmrohres findet zugleich die durchgreifendste Auflösung und die nachhaltigste Ausziehung des Speisebreies statt. Die Reste der Nahrung treten (e) in einen weiteren Kanal, in den Dickdarm (g, g) über. Dieser ist viel kürzer und einfacher gewunden, als der Dünndarm. Er entzieht seinem Inhalte vorzüglich nur Wasser; aber an seinem Anfang, in dem Blinddarme (f), scheinen doch auch noch Reste von Nahrungsstoffen verflüssigt und aufgesaugt zu werden. Die eingedickten Ueberbleibsel der Nahrungsmittel, vermischt mit Galle und andern Absonderungen, werden endlich durch den Mastdarm und After (h) nach außen entleert.

So zerfällt der ganze Darmkanal bei den höchsten Thieren in mehrere Abschnitte, von denen jeder einzelne einem besonderen

Digitized by Google

Stadium des Verdauungsprocesses entspricht. Indem die Speisen durch diese verschiedenen Abtheilungen durchbewegt werden, erleiden sie nach einander die verschiedenen, zur Verdauung nothwendigen Eindrücke. Wo die Ausbildung der Verdauungsorgane unvollkommener ist, da fällt die schärfere Abgränzung der einzelnen Abschnitte allmählig weg; dieß geschieht z. B. bei dem Magen der Fische. In allen den Fällen aber, wo die einzelnen Abschnitte sich deutlich ausprägen, da finden sich an ihren Gränzen eigenthümliche Vorsprünge, Klappen, welche in der einen oder in der andern Richtung die Weiterbewegung der Speisen verhindern. So findet sich am Ausgange des Magens, am sogenannten Pförtner, eine ringförmige, mit Muskelfasern versehene Hautfalte, welche während der Magenverdauung geschlossen ist, um die unverdauten Speisen an ihrer Weiterbewegung in den Dünndarm zu hindern. Während so am Anfange des Dünndarmes der Eintritt erschwert und nur für gehörig vorbereitete Nahrungsmittel offen ist, tritt der Darminhalt ohne Hinderniß aus den dünnen in die dicken Gedärme über. Hier hemmt hingegen eine häutige Klappe den Rücktritt des Inhaltes aus dem Dickdarme. Wie ein zweiklappiges Ventil gestatten diese Hautfalten sehr leicht den Durchgang in der Richtung nach unten (a); drängen dagegen Stoffe von der entgegengesetzten Seite gegen die Klappe an, so wird diese aufgerichtet und verschlossen. Wir werden dieser mechanischen Vorrichtung im Gefäßsysteme noch öfter begegnen.



Ueberblicken wir noch einmal den ganzen Verdauungsproceß, so gleicht er bis in seine Einzelheiten jenen chemischen Vorgängen, welche in den Laboratorien eingeleitet werden. Verschiedene Flüssigkeiten wirken bei mäßiger Wärme chemisch auf die Nahrungsmittel ein, und Bewegungsorgane sorgen dafür, daß die Speisen mit der einen jener Flüssigkeiten nach der andern in Berührung kommen und von jeder derselben gehörig durchdrungen werden. So verfährt auch der Chemiker, wenn er

Digitized by Google

Säuren oder Alkalien zu Mineralien, welche er untersuchen will, bei höherer Temperatur hinzusetzt und mit diesen möglichst innig mengt. Aber dieser chemischen Untersuchung geht in der Regel noch eine mechanische Zerkleinerung, die Pulverung der Mineralien voran; und ebenso wird die Verdauung durch das Zerkleinern, Zerkauen der Speisen unterstützt. Das Pulvern, wie das Kauen schließt die Substanzen mechanisch auf; es vermehrt die Berührungspunkte derselben mit den zersetzenden Reagentien oder Verdauungssäften.

Wie Mineralien gepulvert werden, ehe man sie der verändernden Einwirkung verschiedenartiger Flüssigkeiten aussetzt, so geht auch bei den Säugthieren die mechanische Zerkleinerung der Speisen immer dem Verschlucken derselben voran. Gleich am Eingange der Mundhöhle, in der obern und untern Kinnlade, steht zu diesem Zwecke die Reihe der Zähne. Unter allen Theilen des Thierkörpers zeigen diese die größte Härte und eben damit die höchste Fähigkeit, feste Nahrungsmittel zu zerkauen, ohne selbst von ihnen verletzt zu werden. Sie bestehen bei den höheren Thieren aus drei Substanzen, aus dem Zahnbein, aus dem Cement und aus dem Schmelz. Das erste bildet den überwiegenden Bestandtheil der Zähne; es zeigt im Innern eine gleichförmige Grundsubstanz, in welcher sehr feine Röhren dicht gedrängt von innen nach außen verlaufen. Das Cement der Zähne stimmt in seinem Bau mit der gewöhnlichen Knochensubstanz der Wirbelthiere überein; insbesondere läßt es die charakteristischen Knochenkörperchen deutlich erkennen. Der Schmelz endlich gehört ohne Zweifel zu den epithelialen Bildungen; er wird aus feinen Säulen zusammengesetzt, welche senkrecht auf der Oberfläche des Zahnbeines stehen. Unter diesen drei Theilen des Zahnes ist das Cement der weichste, der Schmelz unbedingt der härteste; das Zahnbein übertrifft an Härte noch die gewöhnlichen Knochen; die große Härte des Schmelzes hängt gewiß mit seinem bedeutenden Gehalt an unorganischen Bestandtheilen, namentlich an phosphorsaurem Kalk,

Digitized by Google

zusammen. Sind daher Cement, Zahnbein und Schmelz gleicherweise der Reibung beim Kauen ausgesetzt, so erleiden sie je nach ihrer größeren Weichheit eine bedeutendere Abnützung.

Die Zähne bleiben nicht bei allen Wirbelthieren am Eingange des Nahrungskanales stehen. Schon bei den Reptilien, namentlich bei den Schlangen, Eidechsen und Fröschen, verbreiten sich die Zähne nach hinten über den harten Gaumen. Bei vielen Fischen aber werden Zähne auch von den Knochenbögen getragen, welche den Schlund begränzen. So rücken die Kauorgane dem eigentlichen, chemisch wirkenden Verdauungsapparate immer näher, und es ist der Uebergang gemacht zu den Vögeln, welche sich durch ihre Kauwerkzeuge vor den andern Wirbelthieren auszeichnen. Den Vögeln fehlen die Zähne vollständig; ihr scharfrandiger, hornartiger Schnabel vermag nur, weiche Nahrungsmittel, wie z. B. Fleisch zu zerreißen. Aber bei körnerfressenden Vögeln, namentlich bei den Hühnerartigen, gelangt die Körnernahrung kaum zerdrückt in den Magen hinab. Die chemische Einwirkung wäre hier ohne eine kräftige mechanische Einwirkung unmöglich. So erklärt es sich, daß die eine Hälfte des Magens die Zerkleinerung nachholt, welche sonst den Zähnen der Mundhöhle übertragen ist. Die Nahrungsmittel der Vögel gelangen zuerst in den drüsenreichen Vormagen, welcher sie mit Verdauungssäften durchdringt und erweicht. Von hier gehen sie unmittelbar in den zweiten oder Muskelmagen über. Dieser zeigt sehr dicke, muskulöse Wandungen und nach innen eine feste, mit harten Wülsten besetzte Oberhaut; indem seine Wandungen gegen einander gedrückt und verschoben werden, bewirken sie die Zerreibung der aufgenommenen Körner; darum entwickelt sich der Muskelmagen um so stärker, je ausschließlicher ein Vogel sich von Körnern nährt.

Bei den Vögeln wird also das Kauen zwischen die chemischen Veränderungen der Nahrungsstoffe mitten eingeschoben. Aehnlich verhält sich der Magen der Schildkröten, welche mit den Vögeln den hornartigen, zahnlosen Schnabel theilen. Aber

Digitized by Google

wir müssen mit dieser Eigenthümlichkeit außerdem das Verhalten der wiederkäuenden Säugthiere vergleichen. Bei den Wiederkäuern unterscheidet man vier Abtheilungen des großen Magens, den Pansen, den Netzmagen, den Blättermagen und den Labmagen. Wenn das Futter aus der Speiseröhre in den Pansen und aus diesem in den Blättermagen eingetreten ist, so steigt es wieder aus dem letzteren durch die Speiseröhre in die Mundhöhle hinauf. Hier wird es noch einmal gekaut; beim nochmaligen Schlucken wird es aber von der Speiseröhre nicht in den Pansen, sondern unmittelbar in den Blättermagen geführt; weiterhin gelangt es in den Labmagen und von diesem aus in die dünnen Gedärme. Auch hier wird also während der Verdauung noch einmal gekaut; aber dieß ist nicht, wie bei den Vögeln, aus dem Mangel eines erstmaligen Kauens, sondern aus der schweren Aufschließbarkeit der Pflanzennahrung zu erklären; und das zweite Kauen geschieht nicht im Darmkanale, sondern das Futter kehrt zu diesem Zwecke in die Mundhöhle zurück. In geringerer Ausbildung wiederholt sich das Wiederkäuen auch bei anderen Säugthieren, wie beim Faulthier und Känguruh; Owen vermuthet es bei den mit Schlundzähnen versehenen Fischen.

Der Unterschied der Vögel und Schildkröten von den übrigen Wirbelthieren zeigt auf der einen Seite die Vermengung, auf der anderen die mehr oder weniger scharfe Trennung der mechanischen und chemischen Vorgänge, welche zur Verdauung zusammenwirken. Wir finden Aehnliches bei den wirbellosen Thieren. Hier fehlen zwar die eigentlichen Zähne; aber sie werden durch zahnartige Vorsprünge der festen Kinnladen vertreten. Solche Zähne sind sehr häufig bei den Insekten und Krebsen; sie fehlen nicht bei den Weichthieren und Ringelwürmern; bei den Seeigeln werden sie von einem sehr zusammengesetzten Gerüste getragen. Aber neben diesen Vorsprüngen der Kinnladen zeigt in manchen Gruppen der Wirbellosen auch der Magen eine Einrichtung, welche ihn zur Zerkleinerung der

Digitized by Google

Speisen befähigt. Bei vielen Insekten geht dem verdauenden sogenannten Chylusmagen ein Kaumagen voraus; dieser zeigt bei manchen Käfern nur erhobene, mit Borsten oder hornigen Fortsätzen besetzte Falten, bei den Geradflüglern aber, wie bei den Heuschrecken und Termiten, regelmäßige Reihen von gezähnelten Hornplatten. Noch stärker sind die Kauorgane, welche sich im Magen einiger Krebse und besonders des Flußkrebses entwickeln; drei feste Zahnleisten werden hier von einem knorpelartigen Gerüst in der Nähe des Magenausganges getragen. Aehnliches wiederholt sich in geringerem Maaße bei einigen Weichthieren. Die wirbellosen Thiere, bei welchen solche Magenzähne vorkommen, bedürfen in der Regel einer genauen Zerkleinerung ihrer festen, schwer verdaulichen Nahrung; sie kauen daher zweimal, nur daß das zweite Kauen nicht in der Mundhöhle, wie bei den Wiederkäuern, sondern im Darmkanale selber geschieht. Nur die Sepien gleichen in Beziehung auf ihre schnabelförmigen Kinnladen und ihren muskulösen Magen ganz den Vögeln; die Zerkleinerung ihrer Nahrung wird größtentheils vom Magen ausgeführt.

Die scharfe Gliederung des Verdauungsprocesses beschränkt sich bei den höchsten Thieren nicht blos darauf, daß die mechanische Zerkleinerung der Nahrungsmittel an einem andern Orte und früher geschieht, als ihre chemische Veränderung; sondern die Zähne selbst passen sich durch verschiedene Formen den einzelnen Seiten des Kauens an. Bei den Affen, wie beim Menschen, unterscheidet man vorn meiselförmige Schneidezähne, neben diesen vier kegelförmige Eckzähne, seitlich und hinten stumpfhöckrige Backenzähne. Wenn die Schneidezähne zur anfänglichen, gröberen Zerkleinerung, die Eckzähne zum Festhalten der Nahrung dienen, so kommt es den Backenzähnen zu, die Zerreibung der Nahrung zwischen ihren stumpfhöckrigen Oberflächen zu vollenden. So scheinen die Rollen zwischen den Zähnen der höchsten Thiere ausgetheilt zu sein; aber schon unter den Säugethieren finden sich vielfache Abweichungen von dieser höchsten

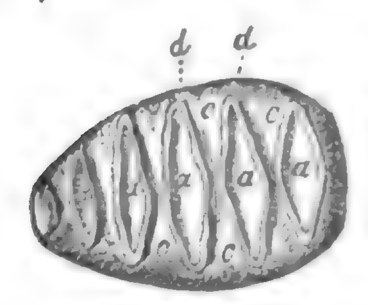
Digitized by Google

Entwicklung, und wir versuchen, in wenigen Worten die hauptsächlichen Gesichtspunkte hiefür anzugeben.

Bei fleischfressenden Thieren fällt die Nothwendigkeit eines genauen Zerkleinerns der Nahrung um so mehr weg, je ausschließlicher das Thier nur von Wirbelthierfleisch lebt; daher werden die Backenzähne der Hunde, Hyänen, Katzen, Tiger und Löwen immer mehr blos schneidend, und namentlich bei den letztgenannten Thieren finden sich am hinteren Ende der Kinnladen nur ganz wenige und kleine Höckerzähne. Umgekehrt ruht bei den pflanzenfressenden Säugethieren der ganze Nachdruck auf der Ausbildung der zermalmenden Backenzähne. Daher fehlen die Eckzähne bei allen Nagern, bei den meisten Wiederkäuern und unter den Dickhäutern beim Elephanten; daher verlieren sich die Schneidezähne in der oberen Kinnlade bei den Wiederkäuern und in den beiden Kinnladen bei den Faulthieren. Die Backenzähne hingegen erhalten bei allen pflanzenfressenden Säugethieren eine obere, mehr oder weniger ebene Fläche, auf welcher die Nahrungsstoffe durch horizontale Bewegungen der unteren Kinnlade zerrieben werden. Die pflanzenfressenden Nagethiere, der Elephant, das Pferd und die Wiederkäuer stehen in Bezug auf diesen Bau der Backenzähne oben an. Aber die zermalmende Kraft der Zähne wird hier noch durch eine eigenthümliche Vertheilung der drei Zahnsubstanzen erhöht.

Bei den Affen, bei allen fleischfressenden Thieren und noch bei manchen Nagern überzieht der Schmelz während des ganzen Lebens diejenige Oberfläche der Zähne, welche frei in der Mundhöhle liegt, die sogenannte Zahnkrone. Dieser Schmelz (b) schützt das Zahnbein (a) fortwährend gegen äußere Schädlichkeiten; das Cement (c) hingegen überzieht nur die Wurzel der Zähne. Bei den pflanzenfressenden Nagern aber und ebenso bei den Dickhäutern und Wiederkäuern bildet der Schmelz zwar anfangs auch eine schützende Decke über dem hervorstehenden Theile des Zahnbeines; aber durch die Kaubewegungen wird

der Schmelz abgeschliffen und innerhalb desselben das Zahnbein blosgelegt. Außerdem reicht das Cement bis zur freien Oberfläche des Zahnes herauf. So kommt es, daß auf der Kaufläche der Backenzähne der oben genannten Thiere alle drei Substanzen zum Vorschein kommen, innen das Zahnbein (a), als nächste Hülle ein Saum von Schmelz (b) und als äußerste Schichte das Cement (c), welches überdieß gewöhnlich mehrere Abschnitte von Zahnbein und Schmelz zusammenkittet; der Elephant zeigt diese zusammengesetzten Zähne mit besonderer Deutlichkeit. Bei der verschiedenen Härte dieser drei Substanzen begreift es sich, daß durch die Kaubewegungen das Cement die größte, das Zahnbein eine mittlere, der Schmelz die geringste Abnützung erleidet, daß eben damit der Schmelz erhabene Leisten darstellt, welche die Zermalmung der Nahrung aufs wesentlichste unterstützen.



Es würde ein tieferes Eingehen in den Zahnbau der Wirbelthiere und Wirbellosen nothwendig sein, wenn alle Beziehungen zwischen der Thätigkeit des Kauens einerseits und der Zahnform und dem innern Zahnbaue andrerseits hervorgehoben werden sollten. Das Bisherige mag genügen, um die Wichtigkeit dieses Zusammenhanges im Allgemeinen darzuthun. Hier sei nur noch bemerkt, daß nicht alle Thiere besondere Kauorgane zum Zerkleinern ihrer Nahrung bedürfen. Der Ameisenfresser und das Schuppenthier leben von Ameisen und anderen weichen Insekten; es fehlen ihnen daher die Zähne vollständig. Der Walfisch, welcher sich von kleinen Seethieren nährt, entbehrt aller wirklichen Zähne und besitzt statt ihrer nur Hornplatten, welche sich an der Oberkinnlade befestigen und nicht zum Kauen, sondern nur zum Zurückhalten der festen Nahrung dienen. Von den wirbellosen Thieren seien hier nur die zahnlosen, saugenden Insekten erwähnt; wir werden die eigenthümliche Umbildung ihrer Kinnladen später schildern. Mit der unvollkommenen Aus-

Digitized by Google

bildung der Verdauungsorgane verlieren sich endlich bei den niedersten Thieren überhaupt alle Kaueinrichtungen.

Es ist unnöthig, nach dieser Schilderung noch besonders hervorzuheben, welche Zweckmäßigkeit in den Verdauungsorganen der Thiere herrscht. Jeder einzelne Theil dieser Organe spricht ja laut dafür, daß er auf chemische oder auf mechanische Weise die Zwecke der Verdauung fördert. Alle Theile wirken mittelbar oder unmittelbar zur Verflüssigung der Nahrung zusammen, und es wäre widersinnig zu behaupten, erst der Eindruck der verschiedenartigen Nahrungsstoffe habe diese verschiedenen Einrichtungen der Verdauungsorgane hervorgebracht. Es ist die ursprüngliche Harmonie zwischen der Gestalt und Thätigkeit, zwischen den inneren Vorgängen und der äußeren Umgebung des Thieres, welche sich hier dem Beobachter unwiderstehlich aufdrängt. Aber dieser strengen Gesetzmäßigkeit steht der Reichthum der organischen Gestalten zur Seite. Was mit verwickelten Apparaten geleistet wird, das wird auf der andern Seite auch von der einfachsten Vorrichtung vollbracht. Aus dieser größten Einfachheit heraus entwickelt sich jene staunenswerthe Mannigfaltigkeit, in welcher jedem einzelnen Stadium und jeder einzelnen Seite des Processes eine besondere Vorrichtung des Organes entspricht. Wir erkennen diese Mannigfaltigkeit nicht als nothwendig für das Zustandekommen der Verdauung; aber wir bewundern in ihr mehr, als in dem einfachen Apparate, die u nerklärliche Anpassung aller einzelnen Theile zu dem gemeinsamen Zwecke.

Die Verdauung bereitet die Nahrungsstoffe zu ihrer Aufnahme in die thierische Säftemasse vor. Wir lassen zunächst diese Säftemasse selbst bei Seite. Ehe wir vom Blute und den Kreislaufsorganen selbst handeln, verfolgen wir fernerhin die Organe, welche die Wechselwirkung der Säftemasse mit der Außenwelt vermitteln. Zunächst müssen

B) Die Organe der Athmung

geschildert werden.

Die thierische Athmung beruht wesentlich in der Aufnahme von Sauerstoffgas und in der Ausscheidung von kohlensaurem Gas. Es bedarf zur Vermittlung dieses Gaswechsels keiner verwickelten Vorrichtungen. Weder der Sauerstoff noch die Kohlensäure werden an der Athmungsoberfläche selbst erzeugt; sondern der erstere wird von den umgebenden Medien dargeboten, die letztere aus der Säftemasse geradezu abgeschieden. Das einzige, was in manchen Fällen nothwendig wird, sind Apparate, welche das äußere Sauerstoffgas dem Körper zuführen und das ausgehauchte kohlensaure Gas von der Körperoberfläche entfernen, d. h. Apparate der Ein- und Ausathmung.

Die Verschiedenheit des umgebenden Mediums gewinnt beim Athmen zuerst eine tiefere Bedeutung. Nur die Thiere, welche in der Luft leben, nehmen aus dieser unmittelbar den Sauerstoff auf; sie entziehen ihn der Atmosphäre sehr leicht, weil diese keine chemische Verbindung, sondern nur ein mechanisches Gemenge von Sauerstoffgas und Stickgas darstellt. Zu den Athmungsoberflächen der Wasserthiere kann der atmosphärische Sauerstoff nicht unmittelbar gelangen; er muß zuerst vom Wasser verschluckt und durch dieses den Athmungsorganen zugeführt werden. Die chemische Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff, welche im Wasser selbst gegeben ist, vermag der Athmungsproceß der Wasserthiere nicht zu zerlegen, und es bleibt für ihn deßwegen nur die atmosphärische Luft übrig, welche das Wasser physikalisch in sich aufgenommen hat. Die Menge des Sauerstoffgases wird hiebei dadurch erhöht, daß gleiche Maaße Wasser ein größeres Volumen Sauerstoffgas als Stickgas in sich aufnehmen. Nur wenige Wasserthiere machen eine Ausnahme von dieser Athmungsweise; die Walthiere unter den Säugethieren athmen an der Wasseroberfläche unmittelbar den Sauerstoff der Atmosphäre.

Digitized by Google

Der Unterschied, welcher sich aus dieser verschiedenen Zufuhr des Sauerstoffgases für die Energie des Athmungsprocesses ergibt, ist leicht abzuleiten. Nimmt man gleiche Maaße von reiner atmosphärischer Luft und von Wasser, welches atmosphärische Luft absorbirt hat, so ist natürlich in dem Maaße Luft ungleich mehr athembares Sauerstoffgas enthalten, als in dem gleichen Maaße Wasser. Daraus folgt unmittelbar, daß die gleiche Oberfläche der Athmungsorgane in der gleichen Zeit bei den Luftthieren mit viel mehr Sauerstoffgas in Berührung tritt, als bei den Wasserthieren; und hieraus ergibt sich weiter, daß bei gleichem räumlichem Verhalten der Athmungsoberfläche die Intensität des Athmungsprocesses, welche durch die Menge des verzehrten Sauerstoffgases bestimmt wird, bei den Luftthieren viel bedeutender sein muß, als bei den Wasserthieren. Aus dem, was früher über den Zusammenhang der thierischen Wärme mit der Athmung gesagt wurde, begreift es sich endlich von selbst, daß die Eigenwärme der Luftthiere die der Wasserthiere im Allgemeinen um ein Bedeutendes übertrifft.

Der Gegensatz zwischen luftathmenden und wasserathmenden Thieren ist der erste, welcher bei den Athmungsorganen in Betracht kommt. Ein zweiter, sehr wichtiger Gesichtspunkt ist schon kurz berührt; er betrifft die verschiedene Ausdehnung der Athmungsoberfläche; je größer diese ist, desto mehr Sauerstoff wird natürlich verzehrt, und desto mehr gewinnt die Athmung an Intensität. Der dritte Punkt, der in Betracht kommt, hängt mit dem Maaße der Athmung zunächst nicht zusammen; er ist ein morphologischer und bezieht sich nur darauf, ob und wie weit ein eigenes Organ für die Zwecke der Athmung sich ausgebildet hat. Wir fassen diese dreierlei Gesichtspunkte in der Schilderung der Athmungsorgane zusammen.

Der einfachste Fall, welcher hier gedacht werden kann, ist offenbar der, wo jede bestimmte Vorrichtung zum Athmen fehlt, wo die allgemeine Körperoberfläche geradezu als Athmungsorgan dient. Auf solche Weise verhalten sich die Protozoen, welche

also das Athmungsorgan mit dem Verdauungsorgane entbehren; ihre Athmung ist eine Hautathmung. Eine ähnliche Einfachheit findet sich in den übrigen Thierklassen auch bei einigen niederen Krustenthieren und Weichthieren; ob man auch den Eingeweidewürmern und einigen parasitischen Milben eine Hautathmung zuschreiben soll, muß dahingestellt bleiben; denn ihr Aufenthalt in der Verdauungshöhle und in den Organen der Thiere macht es zweifelhaft, ob ihre Umgebung ihnen überhaupt so viel freien Sauerstoff darbietet, daß bei ihnen von einer Athmung wirklich die Rede sein kann. Hautathmung findet sich überhaupt nur bei solchen Thieren, welche in einem tropfbarflüssigen Medium leben. Die Athmungsoberfläche bedarf nämlich zur ungestörten Ausführung ihrer Funktion immer einer gewissen Feuchtigkeit, welche ihre Gewebe weich und durchdringbar erhält. Diese Feuchtigkeit müßte rasch verdunsten, wenn die Athmungsoberfläche der unmittelbaren Berührung der Atmosphäre ausgesetzt wäre. Daher findet man die Athmungsorgane der luftathmenden Thiere stets im Innern des Körpers verschlossen und nur durch enge Kanäle mit der umgebenden Atmosphäre verbunden; daher kommt die Hautathmung nur bei wasserathmenden Thieren vor.

Die Hautathmung ist in so fern die einfachste Weise des Athmungsprocesses, als hier jede besondere Vorrichtung fehlt, als die eine Stelle der Körperoberfläche so gut wie die andere an dem Austausch der Gase sich betheiligt. Aber an diese Hautathmung schließt sich unmittelbar eine innere Wasserathmung an, bei welcher das Wasser, als der tropfbarflüssige Träger des athembaren Sauerstoffes, ins Innere des Körpers eindringt und seinen Sauerstoff selbst zu allen Organen des Körpers führt. Auf solche Weise scheinen vor allem die Polypen zu athmen. Der Blindsack, welchen die Verdauungshöhle der anthozoen Polypen darstellt, ist an seinem Grunde nicht völlig geschlossen, sondern mündet sich durch mehrere verschließbare Oeffnungen in die allgemeine Leibeshöhle, welche sich in alle Theile des Po-

Digitized by Google

lypen verzweigt. Wir werden bei den Kreislauforganen diese Leibeshöhle und ihren Inhalt näher ins Auge fassen; hier sei nur bemerkt, daß vom Grunde der Verdauungshöhle aus neben verdauter Nahrung auch Wasser in die Leibeshöhle übertritt, daß dieses durch die Strömungen der in der Leibeshöhle enthaltenen Flüssigkeit zu allen Theilen des Polypen geführt wird und so überallhin seinen Sauerstoff mittheilt. Die Vermittlung des Athmungsprocesses ist bei den Anthozoen nur die eine Aufgabe der Flüssigkeit, welche in der Leibeshöhle enthalten ist. Aber bei anderen wirbellosen Thieren bildet sich im Innern des Körpers ein eigenes Wassergefäßsystem aus, welches nur oder beinahe nur den Zweck zu haben scheint, den Organen sauerstoffhaltiges Wasser zuzuführen. So verhält es sich bei den Quallen, so bei den meisten Stachelhäutern und bei allen Räderthierchen. Das Wasser tritt in dieses System von Kanälen meist durch die Verdauungshöhle ein.

Die innere Wasserathmung hat mit der Hautathmung dieses gemein, daß kein besonderes Organ für die Athmung vorhanden ist. Aber das lufthaltige Wasser dringt bei der inneren Athmung unmittelbarer zu allen Organen, und man darf annehmen, daß diese Athmung intenser ist, als die Hautathmung, bei welcher der Sauerstoff nur durch Vermittlung der oberflächlichen Gewebe auf die inneren Organe wirkt. Der Uebergang von dieser Stufe der allgemeinen Wasserathmung zu der höheren, durch ein besonderes Athmungsorgan bezeichneten Stufe wird bei einer Gattung der Stachelhäuter, bei den Holothurien gemacht. Hier ist es nicht ein allseitig verbreitetes Wassergefäßsystem, was die Athmung vermittelt; sondern von dem Ende des Darmkanales gehen zwei Röhren aus, welche sich nach vorn baumartig verzweigen und theils an den Darm, theils an die äußere Leibeswand sich anlegen; diese Kanäle nehmen Wasser zum Zwecke der Athmung in sich auf. Hier findet sich zum ersten Male ein eigenes, von den übrigen Körperorganen deutlich unterschiedenes Athmungsorgan. Die Athmung der Holo-

Digitized by Google

thurien nähert sich der allgemeinen inneren Athmung der verwandten Stachelhäuter durch die Aufnahme des athembaren Wassers in das Innere des Körpers. Aber in der großen Mehrzahl der Fälle bilden die besondern Organe, welche zur Wasserathmung dienen, nicht hohle Kanäle im Innern, sondern Vorsprünge an der äußeren Körperoberfläche; man bezeichnet diese im Allgemeinen als Kiemen. Die Kiemenathmung kommt bei vielen Wirbellosen vor, so bei den Seeigeln, bei manchen Ringelwürmern, bei den meisten Weichthieren und Krebsen; sie zeichnet aber insbesondere alle wasserathmenden Wirbelthiere aus. Die Kiemen stellen theils blose Höcker oder Blätter, theils Büschel, theils kammförmige Hervorragungen dar.

So lassen sich bei der Wasserathmung zweierlei Unterschiede machen, je nachdem die Athmung durch die äußere Oberfläche oder im Innern, und dann, je nachdem sie ohne eigene Organe oder durch solche ausgeführt wird. Die höchste Ausbildung dieser Athmung scheinen die äußeren Kiemen der höheren Thiere zu sein. Von diesen zwei Unterschieden läßt sich bei der Luftathmung nur der eine durchführen. Wir haben schon oben gezeigt, daß hier von einer äußeren Athmung, geschehe diese durch die Haut oder durch eigene Organe, nicht die Rede sein kann. Es handelt sich hier immer von einer inneren Athmung, und es muß unterschieden werden, ob an dieser alle inneren Theile des Körpers unmittelbar Theil nehmen, oder ob sie durch ein besonderes Organ vermittelt wird. Der erste Fall begreift die Tracheen-, der zweite die Lungenathmung.

Die Tracheenathmung zeichnet vor Allem die Insekten und dann auch die Spinnen aus. Hier wird der Körper von einem System von verzweigten Kanälen in allen seinen Theilen durchzogen. Diese Kanäle oder Tracheen bilden theils größere Stämme, theils Verzweigungen, welche sich in die feinsten Reiser auflösen. Die Stämme stehen durch sogenannte Athemlöcher oder Stigmen mit der äußeren Luft in Verbindung; vorzüglich liegen diese Löcher an der Bauchseite und zwischen den Körperringen

Digitized by Google

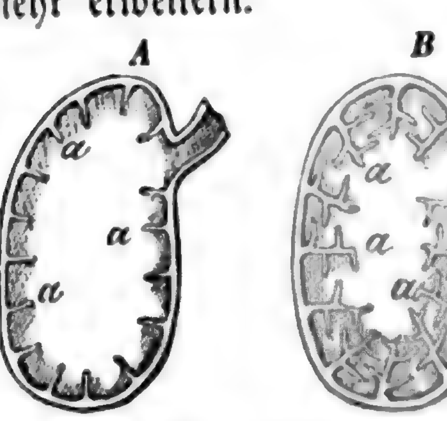
der Insekten. Der Bau der Tracheen ist eigenthümlich. Ihre Wandungen bestehen aus drei Schichten, aus einer äußersten, glashellen Haut, aus einem inneren Ueberzug, welcher von Epithelialzellen gebildet wird, und zwischen diesen beiden aus einem spiralförmigen, festen Faden, welcher in sehr zahlreichen, genau sich berührenden Umgängen die mittlere, wichtigste Schichte der Tracheenwandungen darstellt. Dieser Faden gibt den Tracheen die Elasticität, welche sie nöthig haben, um theils nach äußerem Druck sich wieder auszudehnen, theils nach einer passiven Ausdehnung sich wieder auf ihre vorherige Weite zurückzuziehen. Nur an einzelnen Stellen des Tracheensystems fehlt dieser Spiralfaden; man vermißt ihn in den feinsten Verzweigungen und eben so in einzelnen blasenförmigen Erweiterungen des Tracheensystems. Seine Bedeutung für den Mechanismus des Athmens wird später auseinandergesetzt werden.

Die spinnenartigen Thiere scheinen alle mit den Insekten die Tracheenathmung zu theilen; aber sie unterscheiden sich wieder auffallend, je nachdem ihre Athmung allein durch Tracheen geschieht, wie bei den Milben, oder je nachdem neben den Tracheen lungenartige Organe auftreten, wie bei den Spinnen und Skorpionen. Von dem allgemeinen, inneren Athmungssysteme sondert sich hier ein Theil als besonderes Athmungsorgan ab; die Uebergangsbildung ist jedoch dadurch bezeichnet, daß beide Formen der Athmungsorgane noch neben einander bestehen. Die Lungen liegen hier an der Bauchseite des Hinterleibes als hohle, mit der äußeren Luft communicirende Säcke. Aber ihre Wandungen zeigen keine einfache und gleichmäßige Wölbung; sondern sie sind in zahlreiche, blätterartige Falten gelegt, zwischen welche die äußere Luft eindringt. Durch diese Falten wird das Athmungsorgan im Allgemeinen nicht vergrößert; aber bei gleichem Umfange bietet es eine viel größere Oberfläche für die Aufnahme des äußeren Sauerstoffes dar.

Die Athmungsorgane der Lungenspinnen geben im Allgemeinen das Bild für die Lungen aller übrigen Thiere. Wir

Digitized by Google

finden diese Organe noch einfacher gebildet bei den Land- und Süßwasserschnecken; hier, z. B. bei der Weinbergschnecke, stellt die Lunge einen einfachen, nicht gefalteten Sack dar, welcher in der Nackengegend gelegen ist und sich meist nach rechts öffnet. An eine solche sackförmige Bildung schließen sich ferner die vollkommensten Lungen der höheren Thiere durch mehrfache Uebergänge an. Man hat die Schwimmblase der Fische nicht selten mit den Lungen der übrigen Thiere verglichen; aber diese Blase hat mit der Athmung nichts zu thun; wir werden vielmehr zeigen, daß sie nur für die Ortsbewegung der Fische wichtig ist. Wahre Lungen fehlen den Fischen durchaus; sie treten in ihrer einfachsten Form bei den nackten, froschartigen Reptilien auf. Hier liegen sie im vorderen Theile der Leibeshöhle als einfache Säcke, deren innere Oberfläche glatt und ohne alle Vorsprünge ist. Bei den übrigen Reptilien vergrößert sich die Athmungsoberfläche nach demselben Princip, welches schon bei den Lungen der Spinnen hervorgehoben worden ist. Nicht die Lunge im Ganzen wird größer; sondern an ihrer inneren Oberfläche entstehen Vorsprünge, welche die Athmungsoberfläche immer mehr erweitern.



Im Anfange, z. B. bei den Fröschen, (A, im Durchschnitt) sind es nur einfache Hautfalten (a, a), welche sich von der inneren Lungenfläche erheben und, indem sie vielfach unter einander zusammenhängen, leere, nach innen geöffnete Zellen bilden. Wie diese Zellen durch eine Faltung der Wände des einfachen Lungensackes entstanden sind, so erheben sich von den ersten Zellenwänden wieder neue Vorsprünge und in der ersten Ordnung von Zellen entsteht eine zweite (B, ebenfalls im Durchschnitt). Ebenso kann in der zweiten eine dritte, in der dritten eine vierte sich ausbilden. Diese große Vervielfältigung der Zellen findet sich unter den

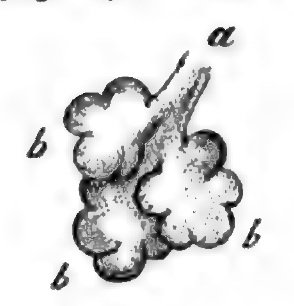
Digitized by Google

Reptilien bei den Schlangen und noch mehr bei den Krokodilen und Schildkröten. Die ganze Höhle des Lungensackes füllt sich allmählig mit solchen Zellen, von welchen immer die eine Ordnung in der andern eingekapselt liegt. In die Zellenhöhlen dringt die äußere Luft ein, und in den Zellenwandungen bewegen sich feine Blutströmchen, welche durch die Berührung mit der atmosphärischen Luft in ihrer Mischung verändert werden. Noch vollständiger, als bei den höchsten Reptilien, wird die Lungenhöhle bei den Vögeln und Säugethieren von lufthaltigen Zellen ausgefüllt; die letzteren werden immer kleiner, und beim Menschen können sie nur mühsam durch das blose Auge erkannt werden. Die höchste Entwicklung der Athmungsoberfläche wird auf solche Weise bei den Säugethieren erreicht.

Der Unterschied in der Entwicklung der Lungen beschränkt sich nicht allein auf die stufenförmige Ausbildung der möglichst großen Athmungsoberfläche; sondern er prägt sich auch in dem Röhrensysteme aus, welches die Luft den Lungenzellen zuleitet. Im Allgemeinen wird der Kanal, welcher die athembare Luft den Lungen zuführt, und durch welchen die geathmete Luft wieder aus diesen ausgestoßen wird, als Luftröhre bezeichnet; sie theilt sich an ihrem untern Ende jedenfalls in zwei Aeste, in die Bronchien, von welchen jeder Einer Lunge angehört. Aber in der Lunge selbst ist die Vertheilung der Bronchien sehr verschieden. Bei den Reptilien verästelt sich der Bronchus nach seinem Eintritte in die Lungen nicht weiter; er öffnet sich unmittelbar in die größeren, taschenförmigen Zellen, welche selbst wieder kleinere Zellen von verschiedenen Ordnungen beherbergen; die Luft kommt aus dem weiten Bronchus unmittelbar in das große Zellensystem der Lunge. Bei den Vögeln senden die Bronchien zwar Aeste aus; aber diese communiciren mannigfach unter einander und ihre ganze Wand ist mit Zellen ausgekleidet, welche wieder höhere Zellenordnungen einschließen. Erst bei den Säugethieren findet sich eine vollkommene Verästelung der Bronchien. Hier führen ihre Zweige nicht zu Taschen, in welchen

Digitized by Google

erst die feinsten Zellen enthalten sind; sondern die Verzweigungen der Luftröhre vervielfältigen sich immer mehr und werden zugleich immer enger, bis sie ihr Ende in den feinen und ein-



fachen Lungenzellen finden, welche ihren äußersten Aestchen (a) traubenförmig aufsitzen (b, b). Bei den Säugethieren wird offenbar die ausgedehnteste Athmungsoberfläche mit einem System von Kanälen verbunden, welches den Ein- und Austritt der Luft aufs regelmäßigste vermittelt.

Es bleibt noch übrig, den feineren Bau der Lungen und ihrer Ausführungsgänge näher zu beschreiben; aber nur die mehrentwickelten Lungen lassen in dieser Beziehung bestimmte Eigenthümlichkeiten unterscheiden. Wie die Tracheen der Insekten durch den Spiralfaden, als durch ein elastisches Gebilde, unterstützt werden, so ist auch in den Lungen und ihren Ausführungsgängen fast immer dafür gesorgt, daß ihnen eine gewisse mittlere Weite gesichert werde. Dafür dienen vor Allem Fasern des elastischen Gewebes, welche in den Wandungen der Lungen und ihrer Ausführungsgänge fast immer vorkommen. Die feinsten Zellen der Säugethierlungen lassen ein Gerüste von elastischen Fasern erkennen, welches die feine Haut jener Zellen stützt; die Fasern beschreiben Bögen, und sie kehren in diese Lage aus jeder Verschiebung zurück; die Lungenzellen nehmen ihre vorherige Gestalt besonders nach Ausdehnungen schnell wieder an. Auch den feineren Zellen der übrigen Wirbelthierlungen dürften diese elastischen Fasern nicht fehlen. Während aber in den athmenden Zellen ein Gewebe sich findet, welches neben seiner Elasticität eine große Verschiebbarkeit zeigt, sind die Gänge, durch welche die Luft ein- und austritt, mit stärkeren, widerstandsfähigeren Wandungen ausgerüstet. In diesen Gängen fehlt zwar die elastische Faser keineswegs; aber neben ihr tritt der Knorpel auf, ein Gewebe, welches in seiner Verschiebbarkeit und in seiner Elasticität hinter den elastischen Fa-

Digitized by Google

fern zurücksteht. Die Knorpel bilden im Allgemeinen Ringe oder Bögen in der Wandung der Ausführungsgänge der Lungen. Sie sind am stärksten in der Luftröhre; schwächer werden sie in den weitesten Bronchien; und wo diese sich, wie bei den Säugethieren, regelmäßig verzweigen, verlieren sich die Knorpel endlich in den feinsten Aestchen. Bei den Reptilien gehen noch einzelne Knorpelstreifen auf die Wandungen der größeren Lungenzellen über; die feinsten Zellen aber enthalten nie Knorpelstreifen. Am oberen Ende der Luftröhre findet sich bei den höheren Reptilien, bei den Vögeln und Säugethieren eine knorplige, aus mehreren Stücken zusammengesetzte Kapsel, der Kehlkopf; dieselbe Bildung wiederholt sich bei den Vögeln am unteren Ende der Luftröhre, wo diese sich in die beiden Bronchien theilt. Wir werden später im Kehlkopf den Ort kennen lernen, wo die Stimme der Wirbelthiere sich bildet; es sind wesentlich elastische, zwischenden Knorpeln ausgespannte Häute, welche durch die ausgeathmete Luft in tönende Schwingungen versetzt werden.

So sind die Athmungsorgane der luftathmenden Wirbelthiere in ihrer ganzen Ausdehnung mit elastischen Wandungen versehen. Die Kanäle, welche der Luft den Ein- und Austritt gestatten, zeichnen sich durch festere Wandungen aus; sie müssen immer offen stehen, damit die Bewegung der Luft völlig ungehindert sei. Die Lungenzellen gestatten eine bedeutendere Ausdehnung und Verengerung, welche ihrer verschiedenen Ausfüllung mit Luft entspricht; doch bewirken ihre elastischen Wandungen, daß sie in der Ruhe einen mittleren Grad von Weite festhalten.

Was wir bisher zur Charakteristik der Athmungsorgane beigebracht haben, bezog sich nur auf ihre allgemeine Einrichtung und auf ihren feineren Bau. Von der Art ihrer Thätigkeit ist noch nicht weiter gehandelt worden. Aber es ist jetzt nothwendig anzugeben, auf welche Weise, durch welche Bewegungen der Gaswechsel in den Athmungsorganen unterstützt wird. Das Erste, was hier nothwendig ist, sind Bewegungsorgane, um die athembaren Medien, seien diese Wasser oder

Luft, an den Athmungsoberflächen vorüberzuführen. Das Medium, dessen Sauerstoff von den Athmungsorganen aufgenommen worden ist, kann natürlich nicht länger den Athmungsproceß unterstützen und muß durch neues Wasser oder neue Luft ersetzt werden. Dieser Wechsel wird durch die Bewegungsorgane der Thiere, und zwar theils durch schwingende Wimper, theils durch Muskelfasern bewirkt.

Die schwingenden Wimper treten mit keiner anderen Thätigkeit des thierischen Körpers in so nahe Beziehung, wie mit der Athmung. Bei den niederen, wasserathmenden Thieren bewirken sie allein die Erneuerung des wäßrigen Fluidums an der Athmungsoberfläche. So finden sich schwingende Cilien nicht blos an der Körperoberfläche der hautathmenden Protozoen; sondern sie vermitteln auch die Bewegung der Flüssigkeiten, welche die Leibeshöhle der Polypen, der Quallen und mehrerer Stachelhäuter erfüllt. Ebenso bedecken sie die Kiemen der Stachelhäuter und der niederen Weichthiere. Aber bei den höchsten Weichthieren, bei den Sepien, fehlt den Kiemen das Flimmerepithelium, und ebenso verhalten sich die Kiemen in der Abtheilung der Wirbelthiere; an die Stelle der automatisch wirkenden Wimperhaare treten hier Muskelfasern, welche theils bewußt theils unbewußt die athembaren Medien an der Athmungsoberfläche vorüberbewegen. Diese Muskelbewegungen treten übrigens schon bei den niederern, wasserathmenden Thieren neben den Wimperschwingungen auf. So zeigen die wasserathmenden, verzweigten Kanäle der Holothurien neben einer reichlichen Auskleidung mit Wimpern auch wurmförmige Bewegungen, welche den Ein- und Austritt des Wassers nach Art von Pumpen bewirken.

In ihr volles Recht tritt die Muskelbewegung doch erst bei den höheren wasserathmenden Thieren. Die Kiemen der Sepien sind in der Mantelhöhle dieser Thiere verborgen; das Meerwasser wird an ihnen vorzüglich durch die Zusammenziehungen des Mantels selbst vorüberbewegt. Bei den Fischen liegen

Digitized by Google

die Kiemen an der Seite des Kopfes dort, wo bei den höheren Wirbelthieren sich der äußere Gehörgang öffnet. Der Zutritt zu ihnen ist von zwei Seiten möglich, von vorn und innen durch die Mundhöhle, von außen und hinten durch die vom Kiemendeckel begränzte Kiemenspalte. Der Fisch nimmt das athembare Wasser, wie seine Nahrung, in die Mundhöhle auf; aber statt dieses Wasser zu verschlucken, treibt er es an den Kiemen vorbei zur Kiemenspalte wieder heraus. Das Athmen der Fische gleicht also bis zu einem gewissen Grade dem Schlingen, nur daß das Wasser von der Mundhöhle aus in anderer Richtung weiter bewegt wird; der Schlund schließt sich, während die Wandungen der Mundhöhle das Wasser nach hinten austreiben.

Bei den luftathmenden Thieren ist die Bewegung des athembaren Mediums fast ganz den Muskeln des Körpers überlassen. Bei den Insekten fehlen die schwingenden Wimper ganz; bei den luftathmenden Wirbelthieren sind die Luftröhre und ihre Verzweigungen mit Flimmerepithelium ausgekleidet, welches insbesondere die Oberfläche dieser Kanäle von Schleim zu säubern scheint. Wir müßten in spätere Abschnitte übergreifen, wenn wir jetzt schon die Athembewegungen der luftathmenden Thiere zu schildern versuchten. Hier sei nur so viel bemerkt, daß der Eintritt der Luft in die Tracheen der Insekten und in die Lungen der höheren Wirbelthiere im Allgemeinen durch Bewegungen der äußeren Leibeswand jener Thiere vermittelt wird. Die Athmungshöhle erweitert sich nicht selbständig; sondern sie folgt nur der Erweiterung der Körperhöhle, in welcher sie selbst eingeschlossen ist. So wird die Lunge der Säugethiere durch die Erweiterung des Brustkastens passiv ausgedehnt. Sobald aber diese passive Ausdehnung eintritt, stürzt nothwendig die äußere Luft in die erweiterten Athmungsräume. So verhält es sich bei den Insekten, so bei den meisten Reptilien, bei den Vögeln und Säugethieren. Nur wo die äußere Leibeswand unbeweglich wird, wie bei den Schildkröten, oder wo sie zu weich und schwach ist, wie bei den Fröschen, muß an die Stelle des be-

Digitized by Google

schriebenen Mechanismus ein anderer treten; und hier wiederholen sich dann dieselben Verhältnisse, wie bei den Fischen; die Luft wird durch Schlingbewegungen aus der Mundhöhle in die Athmungsorgane getrieben.

Bei den wasserathmenden Thieren, welche das Wasser in ihre Leibeshöhle oder in innere Kanäle aufnehmen, tritt häufig das Wasser zu denselben Oeffnungen wieder aus, durch welche es in den Körper eingedrungen war; es scheinen aber hier besondere Vorrichtungen für die eine und für die andere Bewegung des athembaren Mediums zu fehlen. Bei den kiemenathmenden Thieren bedarf es keiner solchen Apparate, weil hier das Wasser nicht auf demselben Wege von den Kiemen sich entfernt, auf welchem es zu diesen gelangt ist. Aber die verborgene Lage der Tracheen und Lungen im Innern des Thierkörpers scheint es mit sich zu bringen, daß dieselben Kanäle der Luft den Ein- und Austritt gestatten. Wir haben vorhin gezeigt, daß das Einathmen theils durch Schlingbewegungen, theils durch Erweiterung der äußeren Leibeswandungen bewerkstelligt wird; es geschieht also immer durch Muskelpartieen, welche nicht den Athmungsorganen selbst angehören. Aber an dem Ausathmen nehmen entferntere Muskel einen viel geringeren Antheil; dieses wird theils durch die Muskelfasern der Athmungsorgane, namentlich der Luftröhre und Bronchien selbst, theils und vornehmlich durch die elastischen Wandungen der Lungenzellen und der Tracheen vermittelt. Die elastischen Fasern der ersteren, die spiralförmigen Fäden der letzteren stellen ohne Dazwischenkunft einer lebendigen Bewegung, durch ihre blose Elasticität die Weite der Athmungshöhlen wieder her, nachdem diese durch die Thätigkeit der entfernteren Muskel ausgedehnt worden waren. Hier bewirken die Contraktion der Muskel und die Elasticität der Gewebe entgegengesetzte Erfolge; wir werden einem ähnlichen Verhältnisse beider noch wiederholt bei den äußeren Bewegungsorganen begegnen. Die Elasticität der Wandungen verhindert aber außerdem, daß die Lungen oder

Digitized by Google

Tracheen nie ganz zusammensinken und luftleer werden; ein gewisser andauernder Luftgehalt scheint für die Thätigkeit dieser Athmungsorgane nothwendig zu sein.

Wie in den Verdauungsorganen, so wirken auch in den Athmungsorganen chemische Processe und mechanische Effekte zu dem gemeinsamen Zwecke zusammen. Hier, wie dort, wird der Zweck erfüllt, die Apparate mögen so einfach oder so zusammengesetzt, als möglich, sein. Der zusammengesetztere Bau dient auch hier nur als ein Zeichen der höheren Organisation und als ein schärferer Beweis für die unerschöpfte Weisheit, welche das Organ mit der Außenwelt, alle Theile des Organes unter sich, endlich die Gestalt des Organs mit seiner Thätigkeit in die vollste Uebereinstimmung versetzt hat.

Wenn die Verdauungsorgane nur die Aufnahme äußerer Stoffe zu ihrem Zwecke haben, so wird in den Athmungsorganen wesentlich zugleich Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure ausgeschieden. Den

C. Organen der Absonderung

fällt nur die Ausscheidung organischer Stoffe anheim.

Wie wir es bei den Organen der Verdauung und der Athmung gethan haben, so sollte eigentlich auch bei den Absonderungsorganen nachgewiesen werden, wie ihre innere Einrichtung mit der absondernden Thätigkeit überhaupt und insbesondere mit der Bildung einzelner Absonderungsstoffe zusammenhängt. Aber wir sind noch weit davon entfernt, den Zusammenhang zwischen dem Bau und der Absonderungsweise der Drüsen zu verstehen. Wir begnügen uns daher mit einzelnen Andeutungen und Gesichtspunkten.

Die Hauptsache bei allen Absonderungsorganen sind die früher geschilderten Drüsenzellen; sie bilden mit Blutgefäßen und Nervenfasern zusammen das eigentliche, absondernde Drüsenparenchym. Die Absonderungsstoffe werden aber bei allen wahren Drüsen an die Körperoberfläche ausgeleert, und es fin-

Digitized by Google

den sich in der Regel eigene Ausführungsgänge für diesen Zweck vor. Endlich geschieht die Ausleerung der Sekrete meist nicht ununterbrochen in gleicher Stärke; die Absonderungsstoffe häufen sich daher von Zeit zu Zeit an, und, wenn sie in größeren Massen gebildet werden, wie Galle und Urin, so nimmt eine Ausweitung ihres Ausführungsganges, die Gallenblase und Urinblase, jene Sekrete so lange auf, bis wieder größere Mengen derselben ausgeleert werden.

Hier, wie bei den bisher betrachteten Organen, gewinnt die Organisation eine um so größere Vollkommenheit, je mehr in ihr die einzelnen Seiten und Stadien der Thätigkeit ausgeprägt sind. Die höchste Stufe wird erreicht, wenn sowohl die Drüse, als der Ausführungsgang und die Blase, welche das Sekret aufzubewahren hat, vollständig ausgebildet sind. Tiefer stehen die Absonderungsorgane, die sich unmittelbar nach außen öffnen, wo also ein eigentlicher Ausführungsgang fehlt. Die tiefste Stufe aber nimmt die absondernde Thätigkeit ein, wenn ihr überhaupt ein besonderes Organ fehlt, wenn die Absonderung geradezu durch die Körperoberfläche geschieht. Diese drei Bildungsstufen treten in verschiedenen Thierklassen deutlich hervor. Bei den Protozoen unterscheidet man überhaupt keine Absonderungsorgane; bei den höchsten Thieren erscheinen diese in ihrer vollkommensten Entwicklung. Aber auch an einem und demselben Thiere werden verschiedene Stufen der Absonderungsorgane neben einander beobachtet. So fehlen den Insekten keineswegs besondere Drüsen; aber neben den Sekreten, welche durch diese gebildet werden, wird bei einigen Insekten Wachs an verschiedenen Körperstellen ohne besondere Organe ausgeschwitzt; vorzüglich dringt dieses bei den Bienen zwischen den Bauchschienen des Hinterleibes hervor. So erreichen die Leber und die Nieren bei den Säugethieren eine sehr bedeutende Ausbildung; aber daneben kommen in der Schleimhaut des Darmkanales die einfachsten Drüsenformen, einfache, mikroskopische, blind endigende Schläuche vor. Es bleibt bis jetzt nur ein un-

Digitized by Google

erreichtes Ziel der Wissenschaft, den Zusammenhang zwischen der Bildungsstufe und der Funktion der einzelnen Absonderungsorgane scharf nachzuweisen. Bis jetzt sind einzelne Anhaltspunkte gewonnen.

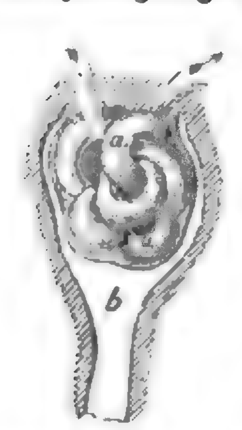
Die Ausleerung der Sekrete geschieht nach den Gesetzen, welche die Bewegung der Stoffe in den Kanälen der Verdauungs- und Athmungsorgane bestimmen. Bei niederen Thieren übernehmen vorherrschend schwingende Wimper, bei höheren vorherrschend Muskelfasern die Ausstoßung der Absonderungsstoffe durch die Ausführungskanäle. Auch die blasenförmigen Behälter der Sekrete, die Gallen- und Urinblase, treiben ihren Inhalt durch contraktile Muskelfasern aus. Bei diesen Behältern sind aber Vorrichtungen zu erwähnen, welche die abgesonderte Flüssigkeit verhindern, bei der Zusammenziehung des Behälters wieder gegen die Drüsen zurückzuweichen. Eine solche Vorrichtung ist besonders deutlich bei der Urinblase, welche allen Säugethieren zukommt. Die Harnleiter (a), welche den Urin aus den Nieren in die Blase (b), bringen, münden nicht geradeaus in die Blase ein; sie dringen vielmehr schief durch die Wandung der Blase durch. So kommt es, daß bei gefüllter Blase der Druck des Urins nicht gegen die Mündungen der Harnleiter (c) wirkt, sondern diese gerade von der Seite (in der Richtung d) zusammendrückt. Der schiefe Durchgang der Harnleiter läßt also den Eintritt des Urines frei, verhindert aber seinen Rücktritt. Hier ist ein weiteres Beispiel von Klappenvorrichtungen gegeben; die zwei ersten boten sich beim Darmkanale dar.

Für die Ausführungsgänge der Absonderungsorgane ist ohne Schwierigkeiten der Mechanismus ihrer Thätigkeit nachzuweisen. Aber das absondernde Parenchym der Drüsen selbst ist in dieser Beziehung bis jetzt noch sehr wenig näher erkannt worden. Es handelt sich ja hier nicht davon, im Allgemeinen den Weg anzugeben, auf welchem die Sekrete aus dem Blute

Digitized by Google

ausgeschieden werden; denn dieser Weg ist in den Zellen des Drüsengewebes sicher nachgewiesen; sondern für jede einzelne Drüse sollte nachgewiesen werden können, wie ihr eigenthümlicher Bau mit ihrer eigenthümlichen Absonderung zusammenhängt. Wir müssen uns in dieser Beziehung mit einzelnen Andeutungen begnügen.

Die Nieren, d. h. die harnbereitenden Organe, bestehen bei den Wirbelthieren zum größten Theile aus sehr langen, engen, mit Zellen ausgekleideten, blind endigenden Röhren. Diesen Charakter halten die harnbereitenden Organe auch bei den wirbellosen Thieren vielfach fest. So stellen sie bei den Insekten sehr lange und dünne Schläuche dar, welche entweder blind endigen oder bogenförmig paarweise in einander übergehen, und in den Darmkanal am unteren Ende des Chylusmagens ausmünden. Aehnlich verhalten sich die Harngefässe bei den spinnenartigen Thieren; sie werden in diesen zwei Klassen von Wirbellosen gewöhnlich als malpighische Gefässe bezeichnet. Aber zu diesem Charakter kommt bei den Wirbelthieren noch ein zweiter. Die Gefässe, welche den Nieren das Blut für ihre Absonderung zuführen, theilen sich nicht, wie in andern Organen, in immer feinere Zweige, welche sich netzartig durch die Masse des Organes verbreiten; sondern an vielen Stellen der feineren Verzweigungen entstehen enge, dicht verschlungene Knäuel der Blutgefässe (a). Diese scheinen die Absonderung des Urins ganz besonders zu vermitteln; denn man darf wohl den neueren Angaben Glauben schenken, daß jeder solche Gefäßknäuel entweder in das erweiterte Ende oder in die seitliche Ausweitung eines Nierenkanälchens (b) hereinhängt und in die Höhle des letztern die Flüssigkeit, welche nachher als Urin erscheint, durchschwitzen läßt. Jeder Knäuel wird zunächst von einer Zellenschicht und dann von einer strukturlosen Haut umgeben, welche beide zum Zustandekommen der Absonderung wesentlich beitragen müssen.



Digitized by Google

Durch diese Einrichtung wird jedenfalls der Blutumlauf zugleich verlangsamt und an einem einzigen Punkte längere Zeit festgehalten; auf beiderlei Weise wird dem vorüberströmenden Blute Zeit gelassen, möglichst viele Flüssigkeit an Einem Orte durch die Gefäßwandungen durchtreten zu lassen. Die Zusammendrängung vieler Gefäßschlingen bringt hier eine ähnliche Oberflächenvermehrung hervor, wie die Bildung von Zellen an der inneren Oberfläche der Lungen. Aus diesen Gefäßknäueln ergibt sich freilich noch nichts für die eigenthümliche Art der Nierensekretion. Aber es ist auffallend, daß in einer niederen Thierklasse, nämlich bei den Sepien, von der ganzen Nierenstruktur nichts übrig geblieben ist, als Gefäßanhänge, welche in die Leibeshöhle dieser Thiere hineinragen. Langgestreckte, feine Röhren, welche mit Zellen ausgekleidet sind, und Gefäßknäuel, welche in die Enden jener hereinragen, scheinen zu der Urinabsonderung der Wirbelthiere wesentlich zusammenzuwirken.

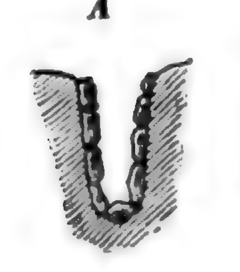
Während in den harnabsondernden Organen die feinen Drüsengänge und die Gefäßverzweigungen eine hauptsächliche Rolle spielen, und die absondernden Zellen mehr in den Hintergrund treten, so erscheinen diese Zellen bei der Leber gerade als das wichtigste Formelement. Die Blutgefässe verzweigen sich bei den Wirbelthieren netzförmig durch die ganze Masse des Organes; aber die hohlen Gänge, welche die Galle nach außen leiten, dringen nicht bis an die Oberfläche der Blutgefässe vor. Drüsengänge und Blutgefässe treten hier nicht in so innige Berührung, wie bei den Nieren. Ehe das Blut aus den Gefässen in die Gallengänge gelangt, muß es durch eine vielfache Schichte von mikroskopischen Zellen durchtreten, und in diesen geschieht eben die Bildung des eigenthümlichen Lebersekretes. Dieser Unterschied im Baue der Nieren und der Leber drängt nothwendig zu der Vermuthung, daß er mit der Verschiedenheit in der Absonderung jener Drüsen zusammenhänge.

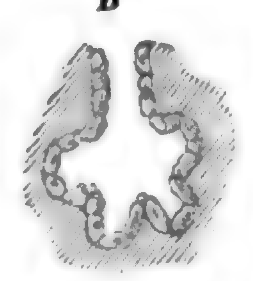
Wenn man hienach annimmt, daß stickstoffhaltige Sekrete vorzüglich in engen und langen Drüsenschläuchen, Absonderun-

Digitized by Google

gen dagegen, welche sich durch Kohlenstoff und Wasserstoff besonders auszeichnen, vorzüglich durch dichte Lagen von Drüsenzellen aus dem Blute abgeschieden werden, so bestätigt sich diese Annahme nicht blos bei der Leber und den Nieren, sondern auch bei kleinen Drüsen, welche ihre Absonderungsprodukte auf die äußere Haut der Säugethiere ergießen, nämlich bei den Schweißdrüsen und Talgdrüsen. Die erstern sondern den Schweiß, eine kochsalz- und vornehmlich ammoniakhaltige Flüssigkeit ab; sie bestehen aus langen und engen, vielfach gewundenen, blind endigenden Schläuchen. Das Sekret der Talgdrüsen dagegen enthält vornehmlich fettartige Substanzen, und ihre Substanz wird blos von Zellen gebildet, welche ihren fettähnlichen Inhalt in den einfachen, nicht verzweigten Ausführungsgang entleeren. So können die Schweißdrüsen wohl mit den Nieren, die Talgdrüsen mit der Leber wegen ihres Baues und ihrer Absonderung verglichen werden.

Wir haben mit dieser Schilderung die zwei äußersten Gegensätze im Bau der Absonderungsorgane bezeichnet. Ueberblickt man die übrigen Drüsen der höheren Thiere, so treten nirgends mehr andere, so scharf ausgeprägte Formen auf. Im Allgemeinen sind die anderen Drüsen darin den Nieren ähnlich, daß ihr Ausführungsgang oder Zweige desselben die ganze Masse des Organes durchdringen. Im einfachsten Fall stellen diese Drüsen nichts dar, als enge, kurze, blinddarmförmige Vertiefungen der allgemeinen Oberfläche des Körpers (A); solche einfache Drüsen kommen namentlich in der Darmschleimhaut der höheren Thiere vor; sie sondern den Darmsaft und Magensaft ab. Zusammengesetzter wird der Bau, wenn der Drüsenkanal sich an seinem Grunde zu Ausbuchtungen erweitert, welche der Drüse ein traubenförmiges Ansehen geben (B). So sind die größeren Drüsen der Schleimhäute, vorzüglich aber die Mund- und Bauch-


A


B

Digitized by Google

speicheldrüsen und die Milchdrüsen gebaut; bei den drei letzteren Drüsen werden die Verästelungen und traubigen Erweiterungen der Gänge besonders mannigfaltig.

Wir haben die Schilderung des Baues der Drüsen nach dem Verhalten dieser Organe bei den höchsten Thieren und besonders beim Menschen gegeben. Die Drüsen der wirbellosen Thiere sind noch zu wenig bekannt, als daß es möglich wäre, allgemeine Gesetze für den Zusammenhang zwischen Bau und Thätigkeit der Drüsen aufzustellen. Aber selbst für die höheren Thiere sind solche Gesetze noch nicht sicher nachzuweisen. Doch fällt es auf, daß diejenigen Drüsen, deren Sekrete am meisten von der unveränderten Blutmasse abweichen, wie Leber, Nieren, Talg- und Schweißdrüsen, auch den eigenthümlichsten und am schärfsten ausgeprägten Bau besitzen, während bei den Schleimdrüsen, deren Sekret am wenigsten von einem einfachen Exsudate, d. h. von der einfachen, durch die Gefässe durchgeschwitzten Blutflüssigkeit abweicht, auch der allereinfachste Drüsenapparat sich vorfindet, während endlich die traubigen Drüsen in Bezug auf Bau und Sekret die Mitte zwischen den beiden Extremen halten. Je zusammengesetzter und ausgebildeter der Bau einer Drüse ist, desto vollständiger scheinen also ihre Absonderungsstoffe umgewandelt und der Blutmischung entfremdet zu werden; einfachere Apparate bringen auch Sekrete von weniger ausgeprägter Mischung hervor.

Diese Andeutungen mögen als ein Versuch gelten, dem innern Gesetze nachzuforschen, welches den Bau und die Thätigkeit der Absonderungsorgane verbindet. Es ist jetzt nothwendig, die Beziehungen der Drüsen zu andern Thätigkeiten des thierischen Organismus hervorzuheben; und hier sind zwei Seiten zu berücksichtigen, die Säftemasse, aus welcher die Absonderungsprodukte gebildet werden, und die äußere Umgebung, auf welche die Absonderungen einwirken. Wir haben schon früher erwähnt, daß die Substanz des thierischen Körpers nicht immer dieselbe bleibt, daß das Thier, wie es neue Stoffe

Digitized by Google

aufnimmt, so auch verbrauchte Stoffe ausscheidet; die letztere Seite der organischen Thätigkeit findet ihren Abschluß in den Drüsen. Hier wäre nun nachzuweisen, auf welche Art jedes einzelne Sekret zu der Erhaltung der Blutmischung beiträgt; aber auch für diesen Nachweis fehlt es noch an genügenden Anhaltspunkten. Unter allen Drüsen gewinnen für die Ausscheidung verbrauchter Stoffe wieder diejenigen die größte Bedeutung, deren Sekrete am meisten umgewandelte Blutbestandtheile enthalten, also Leber und Nieren, jene für den Kohlenstoff und Wasserstoff, diese für den Stickstoff der thierischen Substanz. Talg- und Schweißdrüsen folgen zunächst. Den übrigen Drüsen aber muß für die Ausscheidung der verbrauchten Stoffe eine viel geringere Bedeutung beigelegt werden; sie erhalten ihre überwiegende Wichtigkeit bei den Processen, welche an der Oberfläche des Körpers vor sich gehen.

Es scheint nämlich, daß diejenigen Drüsen, welche zur Erhaltung der Blutmischung am wenigsten beitragen, gerade für andere, äußere Processe besonders bedeutsam werden. Dahin gehören vor Allem jene Drüsen, welche die Fortpflanzungsstoffe absondern; ihre Produkte erzeugen bei ihrem Zusammentreffen die Grundlage für ein neues Individuum. Dahin gehören ferner die Milchdrüsen, welche dem jungen Säugethiere die erste Nahrung darbieten; und an sie schließen sich die Drüsen des Kropfes der Tauben an. Wie die Milchdrüsen der Säugethiere sich zu der Zeit vergrößern, wo das neue Individuum seine erste Nahrung bedarf, so schwellen bei den Tauben während der Brütezeit die Häute des großen, zweitheiligen Kropfes an; vornehmlich verdicken sich die Drüsen, welche in der Schleimhaut des Kropfes liegen, und eine milchähnliche Flüssigkeit ergießt sich aus ihren Mündungen in die Höhle des Kropfes. Sowohl das Männchen als das Weibchen zeigen diese Veränderung, und während der drei ersten Tage ihres selbständigen Lebens werden die Jungen nur mit diesem Sekrete der Kropfdrüsen ernährt. Wir müssen mit diesen Beispielen von

Digitized by Google

nährenden Absonderungsstoffen auch den eigenthümlichen Zuckersaft zusammenstellen, welchen die Blattläuse aus zwei geraden, am Hinterleibe stehenden Röhren ergießen. Dieser Saft wird von den Ameisen begierig verschluckt; und überdieß steigern die Ameisen seine Entleerung, indem sie mit ihren Fühlhörnern den Hinterleib der Blattläuse streicheln und klopfen. Hier ernährt also ein Thier mit seinen Sekreten nicht seine eigene Nachkommenschaft, sondern Thiere von anderer Gattung; das Verhältniß ist ein ähnliches, wie das des Menschen, welcher die Milch der Haussäugethiere zu seiner Nahrung benützt.

Den Absonderungen, welche geradezu nährende Eigenschaften besitzen, stehen diejenigen am nächsten, welche die Verdauung der Nahrungsstoffe vermitteln. Wir haben schon früher diese Absonderungen speciell geschildert; sie sind der Darmsaft, der Mund- und Bauchspeichel, der Magensaft und die Galle. Wie jedes einzelne dieser Sekrete und wie alle zusammen die Verflüssigung der Nahrungsmittel bewirken, ist gleichfalls bei den Verdauungsorganen schon gezeigt worden. Aber an dieser Stelle dürfen die Drüsen, welche die Verdauung unterstützen, nicht allein ins Auge gefaßt werden; es muß überhaupt von dem Beitrag die Rede sein, den verschiedene Drüsen zu andern Thätigkeiten des thierischen Körpers liefern. Dahin gehört zunächst die Einwirkung des Sekretes der Talgdrüsen auf die äußere Haut der höheren Thiere. Offenbar wird durch das Fett des Hauttalges sowohl die Haut selbst, als namentlich die Haare der Säugethiere und die Federn der Vögel geschmeidig erhalten. Bei den Vögeln sind alle Talgdrüsen der Haut in die große Bürzeldrüse zusammengedrängt, welche über den letzten Schwanzwirbeln gelegen ist; der Talg, den dieses Organ absondert, tränkt die Federn und wird in besonders reichlicher Menge bei den Wasservögeln abgesondert, welche sich durch ein besonders dichtes, von Wasser nicht durchdringbares Gefieder auszeichnen.

In anderen Fällen sondern die Hautdrüsen einzelner Kör-

Digitized by Google

perstellen Säfte von besonderem Geruche ab, und bei den Wirbelthieren scheinen solche Absonderungsorgane häufig nichts als Talgdrüsen von höherer Entwicklung zu sein. In solchen Drüsen wird beim Moschusthiere der Moschus, beim Biber der Bibergeil abgesondert. Es scheint, daß der Geruch dieser Absonderung in vielen Fällen dazu dient, die beiden Geschlechter einer und derselben Species einander zu nähern. Ein ähnliches, starkriechendes Sekret sondern die Hautdrüsen vieler Insekten ab; wir erwähnen als das bekannteste Beispiel nur die übelriechende Flüssigkeit, welche eine unpaare Drüse an der Brust der Wanzen absondert. Alle diese Hautsekrete erscheinen für jetzt noch ziemlich unwichtig; aber sie haben gewiß auch ihre bestimmte Bedeutung für einzelne Seiten des thierischen Lebens. Wir schließen an diese weniger bekannten Absonderungsorgane noch den Tintenbeutel der Sepien an. Dieser liegt in der Nähe der Leber als ein länglicher, birnförmiger Sack; sein Sekret ist eine schwärzlich braune, der Zersetzung widerstehende Flüssigkeit. Der Nutzen dieser Tinte ist völlig unbekannt; man hat vermuthet, durch ihre Entleerung werde das fliehende Thier vor seinen Verfolgern verborgen. Bei andern Weichthieren kommen ähnliche, nur anders gefärbte Sekrete vor.

Wenn einzelne Drüsen der Fortpflanzung, andere der Ernährung, andere der Verdauung oder der Hautthätigkeit dienen, so wird das Absonderungsprodukt anderer Drüsen zur Herstellung der künstlichen Baue, der Wohnungen und Gewebe einzelner Thiere verwendet. Nicht wenige Vögel benützen ihren Speichel oder Sekrete von Hautdrüsen als Kitt für die Materialien, aus welchen sie ihr Nest zusammensetzen. Die Röhren, in welchen manche Würmer, wie Terebella und Amphitrite, stecken, bestehen theils aus kleinen Steinchen und Sandkörnern, theils aus einem festen Kitte, der von besonderen Hautdrüsen der Thiere geliefert wird. Diese Röhren machen den Uebergang zu den eigentlichen Schalen vieler wirbellosen Thiere; wir werden aber von diesen erst bei den Bewegungsorganen der Thiere

Digitized by Google

sprechen. Hier sind jedoch die ausgezeichneten Drüsen dieser Art zu erwähnen, welche bei den Spinnen und Insekten den Stoff zu künstlichen Geweben liefern. Die Spinndrüsen der Spinnen liegen im Hinterleibe zwischen den übrigen Eingeweiden; sie münden sich in der Aftergegend durch mehrere Paare von Spinnwarzen, und ihr glashelles Sekret erhärtet sogleich an der Luft. Aehnliche Spinnorgane zeichnen alle Insekten aus, welche eine vollkommene Metamorphose durchlaufen. Hier liegen die Mündungen der zwei langen Drüsen an der Unterlippe des Thieres, und der Saft der Drüsen dient den Larven dazu, sich bei ihrer Verpuppung in ein feines Gewebe zu hüllen; bisweilen benützen die Larven dieses Sekret auch zur Einhüllung fremder Körper. Die Seide des Seidenwurmes wird in solchen Drüsen bereitet. Die kunstvollsten Insektenbaue endlich verdanken ihre Entstehung dem Wachse, welches die Bienen ohne besondere Drüsen zwischen den Schienen ihres Hinterleibes absondern; aus ihm setzen sie ihre Waben zusammen.

Die Absonderungen, von welchen bisher die Rede gewesen ist, dienen alle dazu, das Leben des Individuums selbst oder anderer Individuen zu fördern. Aber der Einfluß der Absonderungen ist nicht unter allen Umständen ein wohlthätiger. Schon jene Sekrete, welche theils als heilsame Ausscheidungen aus dem Blute, theils als Hilfsmittel der Verdauung betrachtet werden müssen, wirken nur an denjenigen Stellen, für welche sie eigentlich bestimmt sind, wohlthätig ein. So werden Galle und Urin schädlich, bisweilen sogar todbringend, wenn sie ihre natürlichen Kanäle verlassen und ins Bindegewebe, in die allgemeine Leibeshöhle, in das Blut des Individuums selbst übertreten. Diese schädlichen Eigenschaften zeigen nun aber einzelne Absonderungen in besonders hohem Grade. Soferne man annehmen darf, daß diese Sekrete keinen anderen, äußeren Zweck erfüllen, als eben die schädliche Einwirkung auf andere Thiere, so wird dieser Einfluß für sie zum auszeichnenden Charakter; die Sekrete werden zu Giften. Ihre Uebertragung auf

Digitized by Google

andere Thiere dient den Zwecken der Selbsterhaltung, indem durch diese Gifte theils der Feind abgehalten, theils die Beute erlegt wird.

Zu den bekanntesten Absonderungen dieser Art gehört das Gift mehrerer Schlangen, wie der Viper, der Klapperschlange, des Trigonocephalus. Die Giftdrüsen, welche dieses Gift bereiten, liegen an jeder Seite des Kopfes hinter den Augen in der Nähe der Speicheldrüsen und ihr langer, cylindrischer Ausführungsgang öffnet sich in den durchbohrten oder rinnenförmig ausgehöhlten Giftzahn. Statt der Zahnreihe nämlich, welche bei den Säugethieren und bei der Mehrzahl der Reptilien an der Seite der Mundhöhle im Oberkiefer steht, sind alle Oberkieferzähne der eigentlichen Giftschlangen in einen einzigen, vom verkürzten Oberkiefer getragenen Büschel zusammengedrängt. Alle Zähne dieses Büschels sind spitzig, gekrümmt und durch einen Kanal oder durch eine Rinne ausgezeichnet; aber nur einer von ihnen steht aufrecht, und hinter diesem liegen mehrere in einer Scheide der Schleimhaut verborgen. Dieser Eine Zahn dient zur Uebertragung des Giftes; seine Wurzel nimmt das Gift auf, und seine Spitze ergießt es in die Wunde, welche der Zahn hervorgebracht hat. Aber derselbe Zahn dient nicht während des ganzen Lebens zu diesem Zwecke; wenn er abbricht oder auf andere Weise unbrauchbar wird, so erhebt sich einer von den liegenden Zähnen und tritt an seine Stelle.

Mit diesen Giftdrüsen der Schlangen müssen zunächst ähnliche verglichen werden, welche bei den Spinnen in dem vordern Theile des Leibes liegen und durch die hohlen Klauen der Kinnladen sich ausmünden; sie ergießen ihr Sekret gleichfalls in die Wunden anderer Thiere. Aehnliche Drüsen kommen bei den Skorpionen vor; aber hier liegen sie im letzten Abschnitte des Schwanzes, und die Mündungen ihrer Ausführungsgänge befinden sich an der Spitze des krummen Schwanzstachels. Auch die Giftdrüsen der Insekten liegen in der Nähe des Afters; sie finden sich bei den Weibchen der Wespen, der Bienen und eini-

Digitized by Google

ger andern Hautflügler. Ihr wasserhelles Sekret ergießt sich durch den hohlen Stachel, welcher nach Umständen eingezogen und hervorgeschoben werden kann. Endlich führen wir hier die merkwürdigen Nesselorgane einiger niederen Thiere, wie der Polypen und Quallen, an. Diese Organe liegen in der äußeren Haut der Thiere als rundliche, glashelle Bläschen; sie enthalten eine helle Flüssigkeit und in dieser einen sehr zarten, spiralförmigen Faden. Bei der Berührung der Haut wird aus diesen Bläschen der Faden herausgeschnellt; er klebt an den äußeren Gegenständen fest und mit ihm gelangt auf diese die klare Flüssigkeit des Bläschens. Die letztere ist ätzend und scheint das nesselnde Brennen hervorzurufen, welches der Mensch bei der Berührung der Polypen und Medusen empfindet. Diese ätzende Flüssigkeit scheint theils zur Vertheidigung, theils zum Fange der Beute verwendet zu werden, und in dieser Beziehung gleicht sie den Giften, welche bei den Wirbellosen, wie bei den Wirbelthieren von besonderen Drüsen abgesondert werden.

Die Kraft dieser thierischen Gifte ist sehr verschieden. Im Allgemeinen scheinen größere Thiere auch stärkere Gifte zu bereiten und von den Giften anderer Thiere weniger stark ergriffen zu werden. Daher steht das Schlangengift in Bezug auf die Intensität seiner Wirkung obenan. Die Klapperschlange tödtet nicht nur die kleinen Wirbelthiere, die Nager und Vögel, von welchen sie lebt; sondern sie greift, wenn sie gereizt wird, auch größere Thiere an, und der Hund, das Pferd, der Stier, wie der Mensch, erliegen der Kraft ihres Giftes. Die Wirkung des Bisses breitet sich sehr rasch von der Wunde auf den ganzen Organismus aus, und man hat gebissene Hunde schon nach fünfzehn Sekunden sterben sehen. Das Gift der wirbellosen Thiere ist für die Wirbelthiere im Allgemeinen viel weniger gefährlich. Nur von den großen Skorpionen der heißen Gegenden weiß man mit Sicherheit, daß Menschen an ihrem Stiche gestorben sind; aber außerdem erzeugen die Insekten und Spinnen durch ihre Gifte höchstens eine mehr oder weniger

Digitized by Google

starke Entzündung der gestochenen Hautstelle. Um so stärker ist der Eindruck, welchen diese Gifte auf andere, kleinere, wirbellose Thiere hervorbringen. Es scheint, daß durch den Stich der Spinnen und Insekten ihre Beute theils unmittelbar getödtet, theils in einen eigenthümlichen Zustand von Betäubung versetzt wird.

Die Gifte der Thiere wirken nur, wenn sie unmittelbar in die Säftemasse selbst übergehen. Schlangengift z. B. kann durch den Darmkanal des Menschen ohne Schaden durchgehen. Dadurch unterscheiden sich die thierischen Gifte von den pflanzlichen; denn diese wirken vom Darmkanale aus nur schwächer ein, als wenn sie unmittelbar ins Blut gebracht werden. Wahrscheinlich erleiden die thierischen Gifte eine Zersetzung durch den Proceß der Verdauung. Die Art und Weise nun, wie diese Gifte die Säftemischung und die allgemeine Lebensthätigkeit der Thiere beeinträchtigen, kennen wir bis jetzt noch gar nicht. Um so wichtiger ist es, die Wirkung der Gifte überhaupt an dasjenige anzuschließen, was über das wechselseitige Verhalten der organischen Individuen im Allgemeinen bekannt ist. Die ganze Natur der Organismen weist sie ja darauf an, die Stoffe für ihr Wachsthum und ihren Stoffwechsel außerhalb ihres eigenen Körpers zu suchen (II. 72). Dieses Gesetz gilt für die Pflanzen so gut als für die Thiere. Da aber die letzteren nur organische Nahrung zur Erneuerung ihrer Substanz verwenden können, so müssen auch sie vorzüglich in das Leben anderer Organismen eingreifen.

Auf solche Weise gestaltet sich eine doppelte Beziehung zwischen den organischen Individuen; während sie sich auf der einen Seite fördern, greifen sie auf der andern Seite feindselig in das Leben anderer Individuen ein. Diese beiden Beziehungen sind in den Wirkungen der Pflanzenstoffe auf die Thiere deutlich ausgeprägt. Wohl bildet das Pflanzenreich im Allgemeinen die stoffliche Unterlage des Thierreiches; aber im Einzelnen behaupten die Pflanzen doch ihre individuelle Selbstän-

Digitized by Google

digkeit, und nicht wenige derselben bringen Stoffe hervor, welche allen oder einzelnen Thieren schädlich werden. Auf ähnliche Weise spiegeln die thierischen Absonderungen die beiden Seiten des wechselseitigen Verhaltens der Organismen ab. Die einen vermitteln die Entstehung oder wenigstens die kräftige Erhaltung anderer Individuen; die andern treten dem Leben anderer Organismen entschieden nachtheilig entgegen. So knüpfen sich die thierischen Gifte auf die ungezwungenste Weise an die Eingriffe an, welche überhaupt jedes organische Individuum in die Existenzen der andern Organismen macht.

Es ist durchaus kein Grund vorhanden, die giftige Natur mancher Pflanzen- oder Thierstoffe anzuklagen und auf die Nachtseite der Natur zu verweisen. Was insbesondere die thierischen Gifte betrifft, so gehören diese ganz in dieselbe Klasse mit anderen Hilfsmitteln, welche die Thiere besitzen, andere Organismen und besonders andere Thiere den Zwecken ihrer eigenen Existenz zu unterwerfen. Die Schlange, das Insekt bereiten oder vollenden durch ihr Gift nur den Sieg, welchen sie vermöge ihrer Bewegungsorgane über andere Thiere davontragen. Dieser Zusammenhang tritt besonders klar hervor, wenn man in Anschlag bringt, daß die giftigen Thiere durch ihr Gift viel Größeres leisten, als sich aus ihren Bewegungsorganen vermuthen ließe. Wie wäre z. B. der Skorpion der tropischen Gegenden im Stande, ohne sein Gift einen Menschen zu tödten? Darum fehlen Giftorgane eben den größten und kräftigsten Thieren, den Säugethieren und Vögeln, welche durch ihre blose Körperkraft andere Thiere überwältigen; sie fehlen den größeren und kräftigen Reptilien. Aber unter den Schlangen kommen giftige vor, weil dieser Thierklasse mit den Extremitäten auch die Mittel fehlen, durch Muskelkraft allein ihre Beute zu erlegen. Daher sind die beweglichen und lebenskräftigen, aber sehr kleinen Insekten und Spinnen mit Giftdrüsen ausgerüstet, welche sie zur Besiegung kräftiger Thiere befähigen. Wo also ein Thier kräftig in die Existenz anderer eingreift, wo aber seine

Digitized by Google

Bewegungsorgane nicht zur Ausführung dieser Eingriffe hinreichen, da wird der Mangel seiner motorischen Apparate durch Stoffe ersetzt, welche auf chemische Weise das Leben der andern Thiere beeinträchtigen.

So kehren die Gifte, welche auf den ersten Blick eine Ausnahme zu sein scheinen, in die allgemeine Ordnung der organischen und besonders der thierischen Schöpfung zurück. Sicher wird auch die Zahl der giftigen Substanzen mit der erweiterten Kenntniß der Thiere sich bedeutend vermehren. Denn nicht jedes Gift wirkt auf alle Thiere gleichmäßig ein, und was z. B. dem Menschen unschädlich ist, das vermag kleinere Thiere zu tödten. Die Gifte müssen als ein sehr kräftiger Ausdruck für die feindseligen Beziehungen einzelner Organismen zu einander angesehen werden.

Wir haben mit dieser letzten Erörterung schon auf die Macht der Thiere über die umgebende Schöpfung hingewiesen. Aber im Gebiete des Stoffwechsels tritt diese Macht doch nur in einzelnen Zügen hervor; erst bei den Bewegungsorganen erhält sie ihre volle Geltung. Jetzt blicken wir wieder von diesem äußerlichen, gewaltsamen Treiben auf die innerliche, ruhigere, stoffbereitende Thätigkeit der Thiere zurück. Die Verdauung, die Athmung und die Absonderung finden alle ihr gemeinschaftliches Band erst in dem Blute und seinem Kreislauf durch alle Körperorgane. In den Organen, welche jene drei Processe vermitteln, stehen Gestalt und Thätigkeit, Theile und Ganzes, Organismus und Umgebung in völliger Harmonie. Die Organe des Blutkreislaufes verbinden diese peripherischen Organe zu einem größeren Ganzen; die innere Gesetzmäßigkeit der Anordnung vereinigt hier ein noch reicher gegliedertes System von Apparaten.

D. Die Organe des Kreislaufes.

Wir haben es schon früher als einen charakteristischen Zug der thierischen Organisation hervorgehoben, daß eigene Be-

Digitized by Google

wegungsorgane schon bei den Protozoen und so in allen Thierklassen die innere Säftemasse umtreiben. Auch in den Organen des Kreislaufes wiederholen sich ja die beiden Seiten der thierischen Lebensthätigkeit so gut, wie in allen bisher geschilderten Organen. Die chemische Seite äußert sich in der bewegten Blutflüssigkeit, die physikalische in den Wandungen, welche das Blut überall oder nur an einzelnen Stellen einschließen und bewegen.

Es kommt, um diese Kreislaufsorgane zu schildern, auf mehrere Gesichtspunkte an. Vor Allem handelt es sich von dem Bewegungsorgane, von seinen Geweben, von seiner Einheit oder Mehrheit, dann von den Strömen, welche von dem Bewegungsorgane ausgehen und wieder zu ihm zurückkehren, und zwar theils von ihren Wandungen, theils von der Art, wie sie sich zu den verschiedenen Körperoberflächen und namentlich zur Athmungsoberfläche begeben. Nach diesen verschiedenen Beziehungen lassen die Organe des Kreislaufes die mannigfaltigsten Abänderungen zu.

In den niedersten Thieren fehlt ein eigenthümliches Bewegungsorgan für die Säftemasse vollständig; jede Stelle der Gefäßwandungen trägt so gut wie die andere zur Fortbewegung der Säfte bei. So verhält es sich bei den Eingeweidewürmern und unter den spinnenartigen Thieren bei den Milben; die Wandungen der Gefäffe oder die allgemeinen Leibeswandungen treiben hier durch ihre Zusammenziehungen das Blut in wechselnden Richtungen weiter. Aber bald wird in Einer oder mehreren Stellen des Gefäßsystemes die bewegende Kraft gesammelt, und jede solche Stelle heißt ein Herz. Herzartige Organe finden sich schon bei den Stachelhäutern, wie bei den Seeigeln und Seesternen, dann bei den Würmern, bei den Weichthieren, Krustenthieren, Spinnen und Insekten, endlich bei allen Wirbelthieren. Es scheint, daß nie den schwingenden Wimpern die eigentliche Fortbewegung der Säftemasse übertragen ist; alle Stellen des Gefäßsystemes, welche diese Funktion übernehmen,

sind wahrhaft contraktil und enthalten Muskelfasern, sobald überhaupt ihre Gewebe sich schärfer ausprägen.

Auf der niedersten Stufe der Ausbildung erscheint nun das Herz als ein länglicher Schlauch, welcher das Blut durch wurmförmige Bewegungen von dem einen Ende seiner Höhle zum andern weitertreibt. Aber von einer festbestimmten Richtung des Fortbewegens ist bei den ersten Anfängen eines Herzens noch nicht die Rede; bei niederen Weichthieren, wie bei den Salpen, kann das Blut aus dem Herzen bald nach der einen, bald nach der andern Seite ausgetrieben werden. Doch ist in der Mehrzahl der Thiere die Herzbewegung in Bezug auf ihre Richtung fest bestimmt; das Blut wird durch die eine Herzmündung ausgetrieben und kehrt durch die entgegengesetzte wieder aus den Körperorganen zum Herzen zurück. Wie nun im Darmkanale der Thiere diese bestimmte Richtung der Fortbewegung nicht blos in der Anordnung der Muskelfasern ihren Grund findet, sondern zugleich durch klappenartige Vorrichtungen unterstützt wird, so zeigen sich auch an vielen Stellen der Kreislaufsorgane Klappen, welche das Blut verhindern, in einer anomalen Richtung zu strömen.

Insbesondere finden sich solche Klappen am Herzen, welches das Blut durch die ganze Masse des Körpers zu treiben hat. Es ist nämlich dem Herzen eigenthümlich, daß bei ihm, wie bei jedem Bewegungsorgane, Ruhe und Thätigkeit abwechselt. Die Zeit der Ruhe ist der Moment, während dessen das Körperblut in das schlaffe und ausdehnbare Herz einströmt. Auf diesen Moment folgt die Contraktion, welche das Blut wieder in die Körperorgane austreibt. Schon diese Contraktion macht klappenartige Vorrichtungen nöthig; am Eingange des Herzens muß das Blut verhindert werden, wieder in die zuführenden Adern bei der Herzcontraktion zurückzuströmen. Außerdem aber überwindet das Herz beim Austreiben des Blutes den ganzen, sehr bedeutenden Widerstand der Gefäße, der umgebenden Organe und der Leibeswandungen. Alle diese Theile

Digitized by Google

sind elastisch, und sie streben daher, sobald das Herz ruht, sich wieder in ihre vorherige Lage zurückzuziehen. So würde das Blut wieder ins Herz zurückgedrängt, wenn nicht am Ausgange des Herzens gleichfalls Klappen seinen Rücktritt verhinderten. Alle diese Vorrichtungen des Gefäßsystemes gleichen Klappenventilen, welche abwechselnd zurückweichen und sich aufrichten. Wir führen als Beispiel nur die drei Klappen an, welche bei den höchsten Thieren die Communikation des Herzens mit der großen Körperschlagader vollständig verschließen.

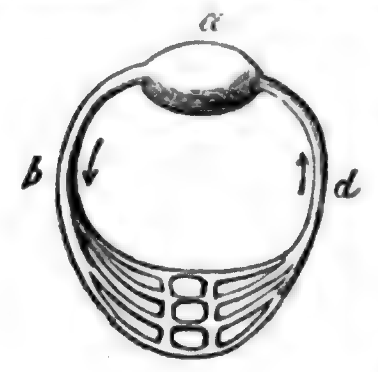
Die Bestimmtheit oder die Unbestimmtheit der Richtung, in welcher das Blut vom Herzen bewegt wird, sind nicht die einzigen Unterschiede in der Thätigkeitsweise der Centralorgane des Kreislaufes. Eben so wichtig ist die Zahl dieser bewegenden Organe, die Einheit oder Mehrheit der Herzen. Im Allgemeinen bezeichnet es eine niedrigere Stufe in der Entwicklung der Kreislauforgane, wenn mehrere Stellen des Gefäßsystemes durch ihre lebendigen Zusammenziehungen zu der Fortbewegung des Blutes beitragen; so verhält es sich bei einigen Würmern und Weichthieren. Aber in der großen Mehrzahl der Fälle ist schon bei den Wirbellosen nur Ein contraktiles Centralorgan vorhanden. Dasselbe Gesetz gilt im Wesentlichen auch bei allen Wirbelthieren. Nur im Gebiete der Lymphgefässe kommen bei allen Reptilien contraktile Stellen, sogenannte Lymphherzen vor, welche die Strömung der Lymphe in die Höhle des Blutgefäßsystemes beschleunigen; ein ähnliches, pulsirendes Organ wurde am Schwanze des Aales von M. Hall beschrieben. Während die chemische Wirkung der Kreislauforgane nicht an Einer Stelle vollständig geschehen kann, sondern von der Bewegung der Blutflüssigkeit durch alle Organe des Körpers wesentlich abhängt, concentrirt sich also die bewegende Kraft mehr und mehr an Einem Punkte des Gefäßsystemes. In dem centralen Blutsysteme stellt das bewegende Organ wieder den räumlichen Mittelpunkt dar; und

Digitized by Google

je mehr von Einem Herzen alle Blutbewegung ihren Anstoß erhält, desto vollkommener ist die Bedeutung des Herzens ausgeprägt. Das Herz ist erst dann wahrer Mittelpunkt, wenn es als einziges Organ den mannigfachen Verzweigungen der Gefäße gegenübersteht. Erst durch diese Concentration wird die ganze Blutbewegung durchgreifenden, strengen Gesetzen unterworfen.

Dem Herzen stehen die Bahnen gegenüber, durch welche das Blut von der Kraft des Herzens getrieben wird. Der Blutkreislauf entsteht ja gerade dadurch, daß das Blut vom Herzen aus in alle Organe strömt und von den Organen aus wieder zum Herzen zurückkehrt. Aber auch in der Art, wie das Blut die Organe durchströmt, finden sich bedeutende Verschiedenheiten. Wir schildern zuerst die vollkommensten Einrichtungen des Kreislaufes in der Gruppe der Wirbelthiere.

Im Körper der Wirbelthiere werden alle Blutströme von zusammenhängenden Wandungen eingeschlossen. Hier haben die Gefäße nirgends eine Oeffnung; sondern alle Kreislauforgane bilden eine einzige, rings geschlossene, aber vielfältig verzweigte Höhle. Soll also hier das Blut auf die umgebenden Organe einwirken, soll es Stoffe abgeben oder aufnehmen, so kann dieses nur durch Vermittlung der Gefäßwandungen, nach den Gesetzen der Endosmose geschehen. Je nach ihrer Funktion zerfällt nun diese Eine Höhle des Gefäßsystemes hauptsächlich in drei Theile, in das centrale Herz, von welchem alle Blutbewegung ihren Ursprung nimmt, in die peripherischen Gefäßverzweigungen, welche vorzüglich die chemische Wechselwirkung des Blutes mit den Organen vermitteln, und in die zwischenliegenden Gefäße, welche das Blut vom Herzen zur Peripherie und zurück von der Peripherie zum Herzen führen. Geht man vom Herzen (a) aus, so schließen sich an dasselbe zunächst die Kanäle an, durch welche das Blut zu den Organen strömt; diese heißen überall Arterien (b). Je



Digitized by Google

weiter man sich vom Herzen entfernt, desto zahlreicher werden die Arterienverzweigungen, und desto enger werden die einzelnen Arterien. Zuletzt hört dieses Engerwerden der Kanäle auf; die Gefässe verzweigen sich nach allen Seiten hin, und so entsteht ein Netz von feinen, allseitig verbundenen Gefäßchen, das sogenannte Capillargefäßsystem (c). In diesem Netze wirkt eben das Blut am lebhaftesten auf die Organe. Weiterhin verbinden sich einige Capillargefässe wieder zu größeren Strömchen; diese treten ebenfalls zu weiteren Aesten zusammen, und wie im Systeme der Arterien die feinsten Verzweigungen aus den Gefäßstämmen hervorgegangen waren, so setzen sich jetzt wieder die Stämme aus den Gefäßzweigen zusammen. Das Blut strömt auf diesem Wege wieder zum Herzen zurück; die rückführenden Gefässe heißen Venen (d).

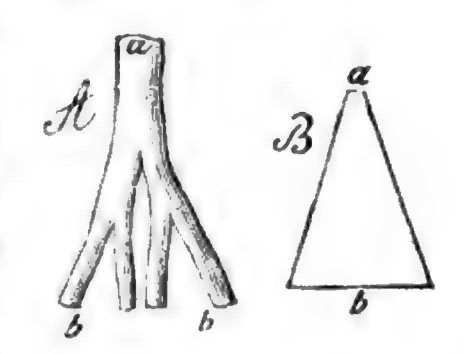
So zerfällt das Gefäßsystem in einen bewegenden, in einen chemisch wirkenden und in einen blos leitenden Theil. Wir haben schon gezeigt, daß die Herzbewegungen durch Muskelfasern ausgeführt werden. Jetzt müssen wir das Verhältniß des Herzens zu den übrigen Theilen des Gefäßsystemes schildern. Hier kommt es vor Allem auf die Widerstände an, welche sich der Blutbewegung entgegensetzen und vom Herzen überwunden werden müssen. Der eine Widerstand liegt im Gefäßsysteme selbst. Von einer gewöhnlichen Reibung des Blutes an den Gefäßwandungen kann hier kaum die Rede sein; denn die innere Auskleidung der Gefässe ist im normalen Zustande völlig glatt. Um so mehr Bedeutung gewinnt die Adhäsion der Blutflüssigkeit an den Wandungen der Gefässe (I. 28). Wenn man unter dem Mikroskope breitere Blutströme beobachtet, so bemerkt man deutlich, daß die Blutkörperchen in der Nähe der Wandungen mit geringerer Schnelligkeit fortbewegt werden, als in der Mitte der Gefässe. Die Adhäsion, welche hienach die Wandungen auf das Blut ausüben, wächst natürlich mit der größeren Enge der Kanäle, und sie erreicht ihren höchsten Grad in den Capillargefässen, deren Durchmesser bisweilen $\frac{1}{200}$ Linie

nicht übersteigt (I. 52). Wenn man dem Blute klebrige Flüssigkeiten, wie Gummilösung zusetzt, so wird diese Adhäsion bis zu einem solchen Grade gesteigert, daß in den Capillaren die Bewegung völlig stockt. Aber unter den gewöhnlichen Verhältnissen überwindet das Herz nicht nur dieses, sondern auch noch weitere Hindernisse, und der einzige Effekt, welchen die Adhäsion hervorbringt, ist eine Verlangsamung des Blutlaufes, welche sich steigert, je weiter das Blut im Kreise des Gefäßsystemes fortschreitet.

Der zweite Widerstand, welcher sich der Blutbewegung entgegensetzt, ist der Druck der äußern Atmosphäre und der Körperorgane. Auch diese Widerstände werden durch die Herzthätigkeit überwunden. Was aber namentlich den Druck der äußeren Luft betrifft, so beträgt dieser an der Oberfläche des menschlichen Körpers 30—40,000 Pfunde (I. 47). Der atmosphärische Druck wirkt natürlich am stärksten auf die Capillaren der Körperoberflächen, welche der Luft zunächst liegen, also auf die feinsten Gefässe der äußern Haut und der Lungen. Es gehört eine bedeutende Kraft des Herzens dazu, um diese oberflächlichen Gefässe immer in der richtigen Weite und Füllung zu erhalten. Aber auf der andern Seite unterstützt der Druck der Atmosphäre und der Organe die Blutbewegung. Auf hohen Gebirgen zerreißen die oberflächlichen, feinsten Blutgefässe, weil, wie wir früher gezeigt haben, der äußere atmosphärische Druck bedeutend kleiner wird, und ebenso finden in fest eingeschlossenen Organen, wie im Gehirn, Blutaustritte statt, wenn die Masse des Organes sich durch Krankheit, durch Atrophie vermindert. Umgekehrt ist es eine bekannte Thatsache, daß stärkerer Druck in allen Körpergefässen den Blutlauf unterbricht. Die richtige Fortbewegung des Blutes findet also nur dann statt, wenn der äußere und der innere Druck sich das Gleichgewicht halten, wenn insbesondere die feinsten Gefässe nicht durch Uebergewicht des ersten verengert oder durch Uebergewicht des zweiten erweitert werden.

Digitized by Google

Dieser zweite, äußere Widerstand trägt also selbst wieder zur ungehemmten Fortbewegung des Blutes bei, während der Widerstand der Adhäsion die Blutbewegung auffallend verlangsamt. Aber zu dieser Adhäsion kommt noch eine zweite Ursache der Verlangsamung hinzu, und erst nach Erwägung beider Ursachen ist es möglich, ihre Bedeutung für die Funktion des Gefäßsystemes hervorzuheben. Bei der Verästelung der Arterien bleibt der Rauminhalt dieser Gefässe nicht derselbe; sondern die Aeste (A. b, b), in welche ein Arterienstamm sich theilt, sind zusammen immer weiter, als der Stamm (a), von welchem sie ausgehen. Umgekehrt verhalten sich die Venen; indem ihre Aeste sich zu Stämmen verbinden, wird die Höhle der letzteren kleiner, als die Höhle, welche die Aeste zusammen bilden würden. Es ist daher passend, das Gefäßsystem mit einem Kegel (B) zu vergleichen, dessen Spitze (a) im Herzen, dessen Basis (b) in den Capillargefässen liegt. Strömt das Blut von der Spitze zur Basis, so geht es aus einer weiteren Höhle in eine engere über; das Umgekehrte findet statt, wenn das Blut von der Basis wieder zur Spitze zurückkehrt. Nun gilt das Gesetz, daß eine Flüssigkeit, wenn sie aus einem engeren Kanale in einen weiteren übergeht, langsamer strömt, daß umgekehrt der Uebergang aus einem weiteren Kanale in einen engern die Bewegung der Flüssigkeit beschleunigt; dabei wird natürlich angenommen, daß die Kraft, welche die Flüssigkeit bewegt, sich weder vermehre noch vermindere.



Dieses Gesetz geht unmittelbar aus einem anderen hervor, welches ausspricht, daß die Geschwindigkeit einer Bewegung zugleich von der bewegenden Kraft und von der Masse des bewegten Körpers abhängt, daß sie mit Zunahme der ersteren wächst, mit Zunahme der letzteren abnimmmt (I. 42). In den Gefäßverzweigungen hat die Kraft des Herzens auf derselben

Strecke eine größere Blutmasse fortzubewegen, als in den Stämmen der Gefässe. Es folgt hieraus mit Nothwendigkeit, daß, so weit es auf die Gefäßverzweigungen ankommt, die Geschwindigkeit des Blutstromes in den Capillargefässen geringer ist, als in den Venen und Arterien, daß sie insbesondere in den Arterien vom Herzen aus abnimmt, in den Venen vom Capillarsysteme aus zunimmt. Dieser Effekt muß aber nicht für sich genommen, sondern mit dem Effekte der Adhäsion zusammengefaßt werden. Dann ergibt es sich, daß das Blut am schnellsten in den Arterien, langsamer in den Venen, am langsamsten in den Capillargefässen sich fortbewegt. Diese Langsamkeit des Capillarkreislaufes hängt wesentlich mit der Bedeutung der Capillargefässe zusammen. Während die Arterien und Venen fast nur die Leitung des Blutes vermitteln, so tritt dieses in den Capillaren in die lebendigste, chemische Wechselwirkung mit den anliegenden Geweben, und zu dieser chemischen Einwirkung bedarf es einer längeren Berührung zwischen Blut und Organen.

Wenn die Blutmasse eines Thieres unter allen Umständen dieselbe wäre, so könnte man sich denken, daß das Blut in starren Kanälen die Organe durchströmte. Aber die Füllung des Gefäßsystemes scheint nicht blos in kranken, sondern auch in gesunden Zuständen zu wechseln; die Vertheilung des Blutes insbesondere zeigt bedeutende Verschiedenheiten, und die Gefässe müssen daher so eingerichtet sein, daß sie sich dem verschiedenen Maaße ihrer Füllung anpassen können. Die Wandungen der feinsten Capillargefässe bestehen nur aus einer strukturlosen, mit Kernen besetzten Haut; man darf dieser selbst die Elasticität zuschreiben, welche es den feinsten Gefässen möglich macht, das eine Mal mehr, das andere Mal weniger Blut aufzunehmen; außerdem wirkt aber hier die Elasticität der umgebenden Gewebe wesentlich mit. Der Bau der Arterien und Venen ist hingegen zusammengesetzter, und für den Zweck, von welchem hier die Rede ist, kommt vorzüglich ihre mittlere Haut in Betracht. Sie erreicht bei den Arterien ihre höchste Ausbildung.

Digitized by Google

Die mittlere Arterienhaut besteht zum größten Theile aus breiten, platten, mäßig langen, cirkelförmig verlaufenden Fasern, welche ihrem äußern Ansehen nach den ungestreiften Muskelfasern (II. 276) am ähnlichsten sind. Dieselben Fasern treten auch in den Venenwandungen auf, nur daß sie hier sehr sparsam und unbeständig sind.

Was die Natur dieser Ringfasern specieller betrifft, so scheint es nicht, daß sie gerade den glatten Muskelfasern beigezählt werden dürfen; denn es fehlen ihnen das chemische Verhalten und zum Theile auch die physiologischen Eigenschaften der letztern. Die Muskelfasern verkürzen sich besonders auf galvanischen Reiz; bei den Ringfasern der Gefässe wirkt Galvanismus kaum oder gar nicht. Die Contraktion der Muskel erfolgt rasch; die Ringfasern ziehen sich sehr langsam und in steigendem Maaße zusammen. Sie erinnern in ihren physiologischen Eigenschaften mehr an das gewöhnliche Bindegewebe. Diese Zusammenziehungen erfolgen am deutlichsten an großen Arterien, und zwar theils nach Kälte, theils nach äußerer Berührung. Vorzüglich aber bringen die Ringfasern eine Verengerung der Arterien hervor, wenn der Druck, welchen das Blut auf seine Gefässe ausübt, durch irgend eine Ursache vermindert wird. Dieß geschieht in einzelnen Arterien durch Verwundung und Entleerung der Gefässe; kleine Arterien hören daher nach ihrer Durchschneidung auf, zu bluten. Vorzüglich aber verengern sich alle Arterien nach dem Tode, wenn das Herz aufgehört hat, sie mit neuem Blute zu erfüllen; diese Zusammenziehung der Arterien bewirkt, daß die größte Masse des Blutes in die Capillargefässe und Venen gedrängt, daß daher nach dem Tode die Arterien beinahe leer gefunden werden.

Auf solche Weise schmiegen sich die Blutgefässe, vorzüglich aber die Arterien, genau der jedesmaligen Blutmenge im ganzen Gefäßsysteme oder in einzelnen Blutgefässen an. Durch die Ringfasern der Arterien wird überdieß dem Blutdrucke der seitliche Widerstand entgegengesetzt, welcher nothwendig ist, um das

Digitized by Google

Blut nicht seitlich ausweichen zu lassen, sondern geradezu nach den Capillaren hinzuleiten. Aber diese Funktion der Arterien wird noch durch eine weitere Einrichtung ihrer Wandungen unterstützt. Außerhalb der Ringfaserhaut findet sich nämlich bei allen stärkeren Arterien eine Schichte von elastischen Fasern (II. 288); diese fehlen auch in den Venen nicht ganz; aber nur in den größten Venen massiger Säugethiere bilden sie eine zusammenhängende Schichte. Die elastische Schichte dient hier, wie in den Lungen der Thiere, dazu, den Kanälen eine mittlere Weite zu erhalten. Wenn durch anhaltende Zusammenziehung der Ringfaserhaut das Arterienrohr sich sehr verengert hat, so wird es durch die Wirkung der elastischen Fasern wieder erweitert; und umgekehrt führt das elastische Gewebe die Arterien wieder auf ihre gewöhnliche Weite zurück, nachdem sie durch die eintretende Blutwelle ausgedehnt worden sind. In beiden Fällen wirken die elastischen Fasern der lebendigen Zusammenziehung entgegen, welche das eine Mal von den Ringfasern der Arterien, das andre Mal von der Muskelmasse des Herzens ausgeht. Aber das elastische Gewebe erhält in den Arterien noch eine weitere Bedeutung.

Wir haben schon früher bemerkt, daß im Herzen Ruhe und Bewegung, Diastole und Systole regelmäßig mit einander abwechseln. Im Augenblicke der Zusammenziehung wird eine bestimmte Menge von Blut in die Arterien hinausgestoßen, und die ganze Blutmasse des Gefäßsystemes wird in Folge hievon um eine bestimmte Strecke vorwärts geschoben. Denkt man sich die Gefässe als starre Röhren, so müßte diese Fortbewegung gleichförmig im ganzen Gefäßsysteme erfolgen, und nach jedem Weiterrücken müßte, wie am Herzen, eine Zeit der Ruhe eintreten; durch das ganze System hindurch wäre also die Blutwegung eine stoßweise und unterbrochene. Ein solches Verhalten paßte gewiß nicht zu der gleichförmigen Wirkung des Blutes in den Capillaren. Und in der That findet man, daß das Blut schon in den feinsten Arterien, noch mehr aber in den

Digitized by Google

Capillargefäſſen und Venen ohne Unterbrechung fließt. Dieſe Gleichförmigkeit der Bewegung erkennt man an den größeren Venen beſonders aus dem Mangel eines Pulſes. Denn bei den Arterien deutet dieſer darauf hin, daß die Blutmaſſe durch die Zuſammenziehung des Herzens fortgeſchoben und daß hiedurch eine vorübergehende Erweiterung der Arterien bewirkt worden iſt. Mit dem Blute rückt der Puls gegen die Peripherie weiter; aber auf jeden Puls folgt wieder eine elaſtiſche Zuſammenziehung der Arterienwandungen. Dieſe abwechſelnde, elaſtiſche Ausdehnung und Zuſammenziehung aller Arterien ſchiebt das Blut auch in den Zwiſchenzeiten der Herzſtöße weiter, und verwandelt ſo den Blutſtrom aus einem unterbrochenen in einen gleichförmigen. Derſelbe Erfolg wird auch künſtlich hervorgebracht, wenn man Waſſer ſtoßweiſe durch lange elaſtiſche Schläuche treibt. Das elaſtiſche Gewebe der Arterien bewirkt alſo die Gleichförmigkeit der Blutbewegung, ohne welche die angemeſſene Thätigkeit der Capillarſtröme nicht gedacht werden kann.

Die einzelnen Einrichtungen, welche zum Kreislaufe des Blutes bei den Wirbelthieren zuſammenwirken, ſind jetzt im Zuſammenhange geſchildert. Vom Herzen allein geht der Anſtoß zur Blutbewegung aus. Die Kraft des Herzens reicht hin, das Blut durch ſeine ganze Kreisbahn, durch Arterien, Capillargefäſſe und Venen zu treiben. Hiebei wirkt das Herz nach Art einer Pumpe nur inſofern, als es dem Blute den Anſtoß zur Bewegung gibt; aber auf der andern Seite ſaugt das Herz nicht, wie eine Pumpe, das Blut aus den Venen an; ſondern ſeine Kraft reicht hin, um noch am Ende des Kreislaufes das Blut wieder in das ruhende, ſchlaffe Herz zu treiben. Die Arterien, die Capillargefäſſe und Venen verhalten ſich aber bei dem Kreislaufe nicht paſſiv; ſie unterſtützen die Blutbewegung und vermitteln vorzüglich die veränderliche Vertheilung des Blutes in die einzelnen Organe. Dem Blute ſelbſt kommt durchaus keine bewegende Kraft zu; ſondern ſeine ganze Bewegung muß nach phyſikaliſchen Geſetzen aus der Wirkung der Gefäſſe

Digitized by Google

und vor Allem des Herzens erklärt werden. Das Blut folgt hierin ganz den Gesetzen der Hydrodynamik (I. 53).

Alle diese Gesetze der Blutbewegung können nur bei den Wirbelthieren vollständig zur Erscheinung kommen, weil nur bei diesen das Gefäßsystem eine durchaus geschlossene, von festen Wandungen begränzte Höhle bildet. Aus dieser Höhle treten im Capillarsysteme die Stoffe aus, welche theils zur Ernährung, theils zur Athmung und Absonderung verwendet werden. In diese Höhle müssen die Substanzen übergehen, welche das Blut theils als Nahrungsstoffe, theils als Auswurfstoffe in sich aufnimmt. Zu dieser Aufnahme werden aber nicht allein die Capillargefäße verwendet; sondern außerdem fließen durch die Lymph- und Chylusgefäße, welche als ein Anhang des Gefäßsystems zu zu betrachten sind, dem Blute von den Organen und vom Darmkanal aus neue Substanzen zu (II. 264).

Diese Abgeschlossenheit fehlt dem Gefäßsysteme fast aller wirbellosen Thiere. An den Gefäßen der Würmer und Stachelhäuter sind bis jetzt noch keine Oeffnungen gesehen worden. Aber anders scheint es sich bei allen Weichthieren zu verhalten. Von den Capillargefäßen, welche man in den Wirbelthieren findet, bleiben hier nur die feinen Gefäße der Athmungsorgane übrig. Das Blut, welches die Körperorgane bespülen soll, gelangt zu diesen nicht durch verzweigte Kanäle, sondern es ergießt sich durch Oeffnungen der Gefäße unmittelbar in die allgemeine Leibeshöhle der Thiere, so daß das Blut nicht in die Organe eindringt, vielmehr diese selbst in die Blutflüssigkeit eingetaucht werden. Auf solche Weise tauscht das Blut seine Stoffe mit den Organen aus. Erst aus der allgemeinen Leibeshöhle strömt es wieder durch kurze Gefäße zum Herzen zurück. So geschieht die Cirkulation nicht blos bei den niederen Tunikaten, bei den Thieren der zwei- und einschaligen Muscheln, sondern auch bei den höchsten Weichthieren, bei den Sepien. Aber die Insekten, die Spinnen und die Krustenthiere lassen dieselbe Einrichtung in noch höherem Maaße erkennen. Hier zeigt die allgemeine Lei-

Digitized by Google

beshöhle keine bestimmte Begränzung; sondern die Eingeweide und die Muskel liegen in ihr frei und ohne Bedeckung, und sie wird durch diese inneren Organe fast ganz ausgefüllt. Von allen Kanälen des Gefäßsystemes ist aber nur das Herz oder bei den Insekten das sogenannte Rückengefäß mit sehr kurzen Arterien übrig geblieben. Aus diesen tritt das Blut sogleich in die Leibeshöhle aus; es durchströmt die Lücken der Organe und kehrt aus diesen wieder zum Rückengefässe zurück.

Dieses Verhalten der Weichthiere, Insekten, Spinnen und Krustenthiere kann nur als ein Uebergang zu den Kreislaufsorganen der Quallen und Polypen angesehen werden. Hier fehlt eine wirkliche Blutflüssigkeit ganz. Bei den Polypen insbesondere wird das Blut durch die Flüssigkeit vertreten, welche aus der Verdauungshöhle in die allgemeine Leibeshöhle austritt und in der letzteren durch schwingende Wimper fortbewegt wird. Wir haben diese Flüssigkeit schon früher (II. 326) als den Träger des Sauerstoffes zu den Organen geschildert. Aber sie erfüllt nicht blos die Funktion der Athmung, sondern von ihr geht auch alle Ernährung und Absonderung aus. Die Stoffe, welche in der Verdauungshöhle gelöst worden sind, mischen sich mit Wasser, und strömen so an den Organen der Leibeshöhle vorüber; sie geben an die Organe ihre Nahrungsstoffe ab und nehmen von ihnen Auswurfstoffe auf. Die Flüssigkeit der Leibeshöhle vertritt also wohl Blut, Lymphe und Chylus; aber gegenüber von den inneren Organen erscheint sie doch immer nur als eine äußere, nicht völlig angeeignete Masse; sie ist ins Innere nicht durch thierische Häute, sondern durch weite Oeffnungen der Verdauungshöhle eingedrungen. Bei den Polypen wird also Ernährung und Athmung noch durch eine allgemeine Flüssigkeit vermittelt; bei den Protozoen scheidet sich diese nicht mehr von den Körperorganen. Denn das Fluidum, welches die pulsirenden Räume jener Thiere aufnehmen und ausstoßen (II. 252), hört auf, eine besondere, von der Körpersubstanz unterschiedene Flüssigkeit zu sein, sobald es die Hohlräume verlassen

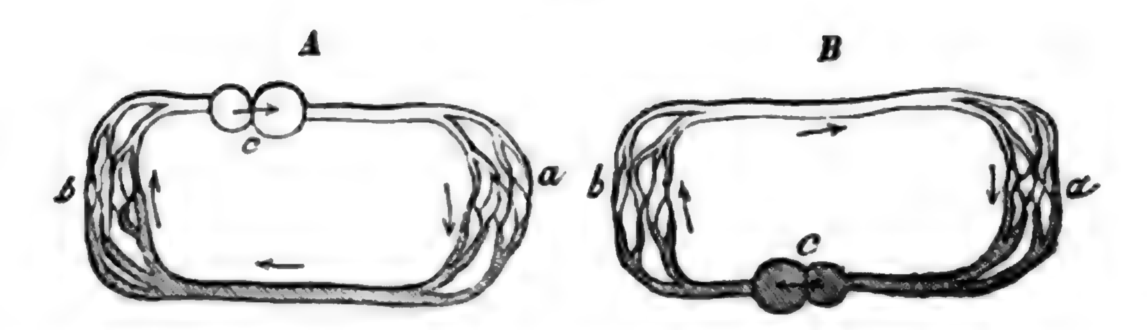
Digitized by Google

hat; es kann daher auch weder die Ernährung noch die Athmung vermitteln.

So sinkt das fein gegliederte System der Kreislaufsorgane bei den Polypen herab zu einer einfachen, von Flüssigkeit erfüllten, mit schwingenden Wimpern ausgekleideten Leibeshöhle; es verschwindet endlich selbst der Gegensatz von Blut und festem Gewebe in der allgemeinen, weichen Körpermasse der Protozoen. Aber wir müssen noch einmal die Kreislaufsorgane der Thiere durchgehen. Es kommt noch auf die Art an, wie die verschiedenen Abtheilungen des Gefäßsystemes vom Herzen aus mit Blut versorgt werden. Vorzüglich aber handelt es sich hier von der Art und Weise, wie das Blut zu der Athmungsoberfläche gelangt.

Bei denjenigen Thieren, welche durch die Haut athmen, scheint nicht nothwendiger Weise die ganze Säftemasse mit dem athembaren Sauerstoffe des umgebenden Mediums in Berührung zu kommen. Aber wo die athembare Luft, sei es für sich oder in Wasser gelöst, selbst sich zu allen Organen begibt, da kann es nicht fehlen, daß die ganze Säftemasse unmittelbaren Antheil an der Athmung nimmt. Dieß muß bei den Polypen, bei den Quallen, bei vielen Stachelhäutern und bei den Räderthierchen, vorzüglich aber bei den Insekten und Tracheenspinnen angenommen werden. Unter den Thieren mit allgemeiner Athmung stehen also diejenigen, deren Athmung eine innere ist, wegen allgemeiner Betheiligung ihrer Säftemasse obenan. Aber auch bei denjenigen Thieren, welche durch besondere Organe athmen, strömt nicht immer die ganze Säftemasse durch die Athmungsorgane. Bei den kiemenathmenden Weichthieren und Fischen wird wohl alles Blut durch die Kiemen getrieben. In jener Klasse (A) liegt das Herz (c) in der Regel am Anfange der Körperarterien; es stößt die Blutmasse zuerst durch die Arterien in die Capillargefäße der Körperperipherie (a); dann sammelt sich da Blut wieder in größere Stämme, um aufs Neue sich durch die Kiemen (b) zu vertheilen; endlich sammelt es sich aus

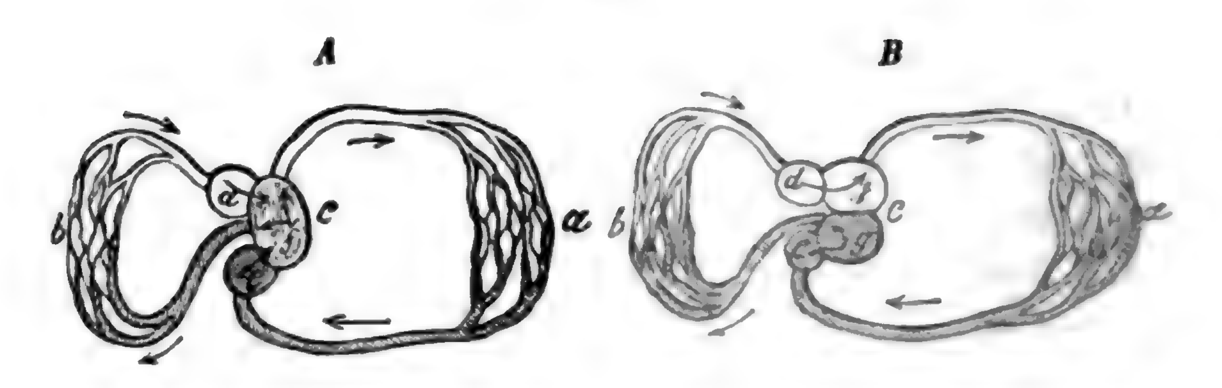
Digitized by Google



den Kiemen und fließt durch die Kiemenvenen zum Herzen zurück. Bei den Fischen (B) liegt das Herz (c) dagegen am Anfange der Kiemenarterien. Das Blut strömt zuerst durch die Kiemengefässe (b), dann aus diesen in die große Körperarterie, weiter in die Körperperipherie (b), und aus dieser kehrt es zum Herzen durch die Körpervenen zurück. Beide Male wird das Blut von der Kraft des Herzens durch zweierlei Capillargefäßsysteme getrieben; beide Male muß alles Blut durch die Kiemen durchgehen.

Bei den Wirbelthieren, welche mit wohl ausgebildeten Lungen athmen, also bei den Reptilien, Vögeln und Säugethieren verhält sich die Sache etwas anders. Wir haben hier vorauszuschicken, daß das Herz aller höher organisirten Thiere keine einfache Höhle bildet, sondern in zwei Hälften, in einen Vorhof und in eine Kammer zerfällt. Der erstere nimmt das Blut aus den Venen auf; der zweite treibt das Blut in die Körperarterien weiter. So ist das Herz aller Wirbelthiere gebaut, und bei den Fischen beschränkt sich seine innere Abtheilung auf Einen Vorhof und Eine Kammer. Aber bei den lungenathmenden Wirbelthieren wird das Herz (c) auch der Quere nach in eine linke und in eine rechte Hälfte abgetheilt. Der Vorhof des Herzens nämlich nimmt sowohl die Lungenvenen als die Körpervenen in sich auf; er erhält also zugleich geathmetes und nicht geathmetes Blut. Diese beiden Blutarten werden aber im Vorhofe nicht gemischt; eine Scheidewand trennt sowohl bei den Reptilien (A) als bei den Vögeln und Säugethieren (B) den Vorhof in eine linke (d) und rechte (e), in eine Lungen- und Körperhälfte. Wie das Blut aus zweierlei Peripherien ins Herz eingetreten war, so wird es auch unmittelbar aus dem

Digitized by Google



Herzen sowohl in die Lungen (b), als in die übrigen Körperorgane (a) getrieben. Aber bei den Reptilien (A) ist die Herzkammer (f), welche das Blut austreibt, gar nicht oder nur unvollkommen getheilt; hier in der Kammer vermischt sich geathmetes und nicht geathmetes Blut, und dieses Gemenge geht jetzt hinaus in die Peripherie der Lungen und des Körpers. Bei den Reptilien wird also nicht alles Blut durch die Lungen geführt. Bei den Vögeln und Säugethieren dagegen (B) setzt sich die Scheidewand des Vorhofes auch in die Herzkammer fort. Nach seiner ganzen Länge wird das Herz in eine linke (f) und rechte (g) Hälfte getheilt. Jene nimmt das Blut aus den Lungen auf und treibt es in die Körperorgane; zu dieser kehrt das Blut aus der Körperperipherie zurück, um wieder in die Lungen getrieben zu werden. Linkes Herz, Körperperipherie, rechtes Herz, Lungen sind die Stationen, welche das Blut auf diesem Wege durchläuft. Hier wird wiederum alles Blut geathmet.

Jetzt erst haben wir alle Momente, welche dazu gehören, um die Intensität des Athmungsprocesses in den verschiedenen Thiergruppen zu bestimmen. Von der Verschiedenheit der Medien, von der Ausdehnung der Athmungsoberfläche ist schon früher gesprochen worden; aber der dritte, ebenso wesentliche Punkt ist der Antheil, welchen die Säftemasse an dem Athmungsprocesse nimmt. Die geringste Intensität zeigt die Athmung ohne Zweifel bei den hautathmenden, im Wasser lebenden Thieren. Auf diese folgen die Thiere mit innerer Wasserathmung, und dann diejenigen Gruppen, bei welchen alles Blut durch die Kiemen durchgeht; unter den wasserathmenden Thieren

Digitized by Google

nehmen die letzteren ohne Zweifel die erste Stelle ein. Ueber den wasserathmenden Thieren stehen aber alle luftathmenden. Wir sprechen hier nicht von den schwachathmenden Lungenschnecken, sondern als niederste Stufe führen wir die Reptilien an, deren Blut nicht alles der Athmung unterworfen wird. Am höchsten stehen endlich die Vögel und Säugethiere, und hinter ihnen bleiben auch die tracheenathmenden Insekten keineswegs zurück. Diese Stufenleiter gibt zugleich auch die Höhe der thierischen Wärme an. Sie ist am größten bei den Säugethieren, Vögeln und Insekten; bei den Reptilien und Fischen, sowie bei allen übrigen Wirbellosen, ist die Eigenwärme zu gering, um mit den alltäglichen Mitteln erkannt zu werden. Der Gegensatz zwischen warm- und kaltblütigen Thieren entspricht ziemlich den beiden, so eben umschriebenen Thiergruppen. Aber neben der höheren Eigenwärme sind die kräftig athmenden Thiere auch durch raschere Bewegungen ausgezeichnet. Wir werden auf diesen Zusammenhang von Athmung und Bewegung noch später zurückkommen.

Dieß sind die Einrichtungen der Organe, welche den Kreislauf des Blutes durch alle Theile des Körpers vermitteln. Wir erkennen in diesen Einrichtungen vor Allem das morphologische Gesetz, nach welchem jedes Organ sich durch die verschiedenen Thiergruppen hindurch von der größten Einfachheit bis zur reichsten Gliederung erhebt. Zweitens aber tritt hier mehr, als irgendwo sonst, die Uebereinstimmung der Organe und ihrer Zwecke in Vordergrund. Die Gefäßwandungen erscheinen gegenüber von dem Blute selbst als etwas Aeußeres. Das letztere ist der Mittelpunkt aller chemischen Thätigkeit des Thierkörpers; die Gefässe bewirken nur die mechanische Fortbewegung des Blutes. Aber gerade dadurch werden die Kreislaufsorgane zu einem klaren Beweise der inneren Zweckmäßigkeit der Organismen, daß die mechanische Thätigkeit der Gefäßwandungen erst die chemische Thätigkeit des Blutes nach allen Seiten ermöglicht. Es ist in den Kreislaufsorganen ein Apparat gegeben, welcher seine Zwecke nach den Gesetzen der Physik aufs strengste erfüllt.

Digitized by Google

Die Gefäſſe sind das einzige, was die Kreislaufsorgane für sich haben. Das Blut selbst kann nicht anders als in der lebendigsten Wechselwirkung mit den Organen gedacht werden. Wir haben die Grundzüge der chemischen, vom Blute eingeleiteten Processe schon früher dargelegt. Hier sei es nur erlaubt, noch einmal auf das ganze Gebiet des thierischen Stoffwechsels den Blick zu kehren. Wo wir in die Vorgänge tiefer eindringen konnten, trat überall die höchste Zweckmäßigkeit der Organisation hervor. Physik und Chemie erschöpften keineswegs die Thätigkeit der Organe; aber alle einzelnen Thätigkeiten, alle Apparate entsprachen aufs beste den physikalischen und chemischen Gesetzen. Wir knüpfen also überall an die Gesetze an, welche in dem großen Ganzen der Natur herrschen; auf einer höheren Stufe und von einem höheren Principe beherrscht wiederholen sich hier die Grundlinien der planetarischen Existenz.

Wir verweilen hier nicht zu lange. Die Weisheit, welche aus den Organen der Verdauung, der Athmung, der Absonderung und des Kreislaufes überall hervorleuchtet, wird in diesen Offenbarungen noch nicht vollständig erkannt. Jede neue Seite des Thierkörpers zeigt diese Weisheit wieder in neuem Lichte. Wir gehen von den Organen des Stoffwechsels zu jenen Organen über, welche unter der Herrschaft des Nervensystemes stehen.

E. Die Sinnesorgane.

Die Sinnesthätigkeit wird, so wenig als die Nahrungsaufnahme, durch ein Gewebe von eigner Art vermittelt; aber gleich den Verdauungsorganen treten auch für die Aufnahme der Sinneseindrücke eigenthümliche Apparate auf. Wir verglichen die Verdauungsorgane mit chemischen Vorrichtungen; von den Sinnesorganen kann zum voraus vermuthet werden, daß sie physikalische Apparate darstellen, welche den einzelnen physikalischen Agentien der umgebenden Schöpfung entsprechen. Es wird nicht schwer sein, den Zusammenhang des einzelnen Apparates

Digitized by Google

mit dem zugehörigen Sinneseindrucke im Allgemeinen anzugeben; aber für die genaue Durchführung dieser Parallele fehlen noch sehr viele Anhaltspunkte.

Der wichtigste Theil jedes Sinnesorganes ist der Nerv, welcher die äußeren Eindrücke aufnimmt und zu einem Ganglion leitet. Was im Sinnesorgan zwischen dem Nerven und der äußeren Körperoberfläche liegt, hat nur den Zweck, die äußeren Eindrücke auf die rechte Weise dem Nerven zuzuführen. Offenbar vermögen nämlich die Nerven die Eindrücke von allen äußeren Agentien, von welchen wir Sinnesempfindungen erhalten, also von Schall, Licht, Wärme und äußerem Stoß, nicht geradezu aufzunehmen; sondern es ist ein organisches Mittelglied zwischen den Nerven und der äußeren Umgebung nöthig. Dieses verbindende Glied gehört dem Organismus an; aber es wird von den äußeren Agentien noch ganz nach physikalischen Gesetzen afficirt, so die Theile des Auges nach den Gesetzen der Lichtbrechung, die Theile des Ohres nach den Gesetzen der Schallleitung. Es sind demnach physikalische, aus organischer Masse gebildete Apparate, welche die Wirkung äußerer Eindrücke auf die Nerven vermitteln. Jeder Sinneseindruck findet den Apparat, welcher ihm nach physikalischen Gesetzen angemessen ist; mit der Entfernung der Apparate hört auch die Möglichkeit jedes scharfen specifischen Sinneseindruckes auf. In der Schilderung der Sinnesorgane handelt es sich daher vor Allem von ihren physikalischen Vorrichtungen.

Hier, wie bei allen Organen des Thierkörpers, führt die Betrachtung zuerst zu den einfachsten Thieren zurück, welchen jede besondere Vorrichtung zur Aufnahme der Sinneseindrücke abgeht. Es kann kein Zweifel sein, daß die Protozoen mit ihrer äußeren Körperoberfläche Sinneseindrücke aufnehmen. Denn sie sind für Licht empfänglich; sie wählen ihre Nahrung aus; sie bewegen sich auf äußere Berührung. Aber aus der äußeren Körperoberfläche tritt kein besonderes Organ für diese Zwecke hervor. Schall, Licht, Wärme, äußerer Stoß, vielleicht auch Geschmack und Geruch afficiren alle auf eine dunkle, aber doch

Digitized by Google

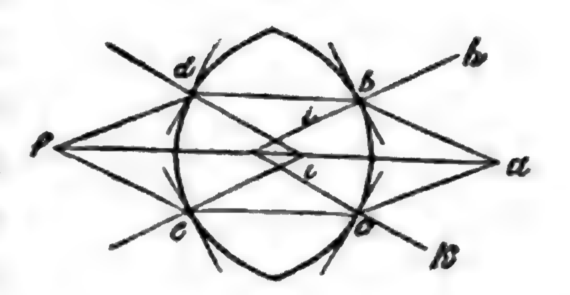
unterscheidbare Weise die allgemeinen Bedeckungen dieser Thiere. Von feineren Empfindungen der äußeren Töne oder Bilder kann hier bei dem Mangel wirklicher Sinnesorgane noch nicht die Rede sein; die Protozoen unterscheiden höchstens ein lauteres oder leiseres Geräusch, eine stärkere oder schwächere Helle. Bei den Polypen scheidet sich zuerst die äußere Oberfläche von der inneren; während die letztere vorzüglich der Aufnahme von Nahrungsstoffen dient, kehrt sich jene ausschließlich der Sinnesthätigkeit zu. Aus der einfachen Körperoberfläche erheben sich bestimmte Sinnesorgane.

Man ist gewöhnt, die Sinne des Gesichtes und Gehöres als die höheren Sinne dem Geruch, Geschmack und Tastsinne entgegenzusetzen. Allein die Entwicklung der Sinnesorgane im Thierreiche folgt nicht dieser abstrakten Unterscheidung zwischen niederern und höheren Sinnesorganen. Die Organe des Gesichtes und des Gehöres treten vielmehr schon bei Thierklassen auf, welche sonst in ihrer Organisation keine hohe Stufe einnehmen; sie sind bei einer ziemlichen Anzahl von Polypen aufgefunden. Wir folgen zuerst jedem dieser Organe durch die verschiedenen Formen, welche es in den einzelnen Thiergruppen annimmt.

Der Nerv, welcher die Sehorgane mit Fasern versieht, der Sehnerv, breitet sich an seinem Ende flächenartig aus; mit dieser Fläche empfängt er die Eindrücke des äußeren Lichtes. Zwischen der Sehnervenausbreitung oder der Netzhaut und den umgebenden Medien liegen durchsichtige Substanzen, welche das Licht durchlassen und zugleich brechen. Im Allgemeinen sind diese Substanzen glashell und weich; zu den umgebenden, wäßrigen oder luftartigen Medien verhalten sie sich immer als dichtere Stoffe; überdieß ist ihre äußere Oberfläche immer gewölbt, und ebenso kehren sie der Ausbreitung der Sehnerven eine convexe Fläche zu. Faßt man die durchsichtigen Substanzen des Auges im Ganzen auf, so gleichen sie einem durchsichtigen, nach zwei Seiten hin gewölbten Körper; sie gleichen einer doppeltconvexen Linse. Eine solche Linse dient zur Sammlung der

Digitized by Google

Lichtstrahlen. Gehen z. B. von den Punkten a Lichtstrahlen nach den Punkten b und c der Linse g, so verfolgen diese Strahlen innerhalb der Linse nicht ihren vorherigen Weg; sondern da die Linse dichter ist, als das Medium,

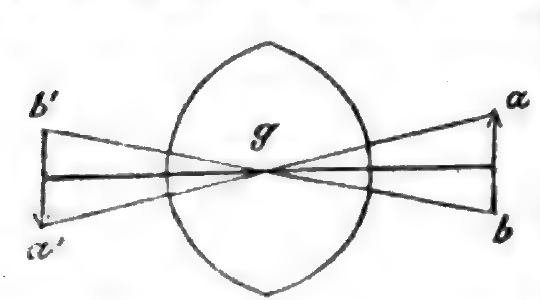


aus welchem die Strahlen kommen, so nähern sich diese den senkrechten Linien hi und kl (I. 74), und gehen jetzt in der Richtung bd und ce durch die Linse weiter. Ebenso verändern sie ihre Richtung wieder beim Austritt aus der Linse; aber hier kommen sie aus einem dichteren Medium in ein dünneres, und sie entfernen sich dann wieder von der senkrechten Linie nach df und ef. Die Lichtstrahlen, die vom Punkte a in verschiedenen Richtungen ausgegangen waren, werden also mit Hilfe der doppeltconvexen Linse wieder in dem Punkte f gesammelt. Diese Concentration der Lichtstrahlen läßt sich an jeder Glaslinse ohne Schwierigkeit beobachten.

Aber auf ähnliche Weise wirken auch die durchsichtigen Substanzen des Auges. Sie gewähren den äußeren Lichtstrahlen nicht den einfachen, ungeregelten Durchgang; sondern sie sammeln die Lichtstrahlen, welche von einem Punkte ausgehen; sie dienen auf den höheren Stufen ihrer Ausbildung dazu, daß jedem äußeren, lichtstrahlenden Punkte ein beleuchteter Punkt auf der Netzhaut als Bild entspreche. So entstehen bei den Augen der höheren Thiere und besonders der Wirbelthiere Bilder der äußeren Gegenstände auf der Ausbreitung der Sehnerven; die leuchtenden Punkte, welche an der Oberfläche der äußeren Gegenstände über einen weiten Raum verbreitet liegen, rufen an der hintern Wand des Auges ein sehr verkleinertes inneres Abbild hervor. Man hat die Einrichtung des Auges häufig mit einer Camera obscura verglichen. Die durchsichtigen Substanzen des Auges entsprechen der Sammellinse, welche sich am Eingange jenes Apparates befindet. Das Papier aber, auf welchem die ver-

Digitized by Google

kleinerten Bilder der äußeren Gegenstände aufgenommen werden, hat im Auge zu seinem Analogon die Netzhaut. Auch auf dieser stehen die Bilder umgekehrt; Rechts und Links, Oben und Unten vertauschen sich; der Pfeil ab erscheint verkehrt als a'b'. Nur ist für die Netzhaut die wirkliche Entwerfung des kleinen Abbildes Nebensache; das Wichtigste sind hier die Lichteindrücke, welche in richtiger Ordnung die Ausbreitung des Sehnerven afficiren.



Zu der Sammellinse und zu der auffassenden Fläche wird bei der Camera obscura noch etwas Weiteres hinzugefügt, nämlich eine dunkle Auskleidung des Raumes, in welchen das Licht durch die Linse fällt. Diese Einhüllung mit dunkeln und nicht glänzenden Stoffen hat den Zweck, alle Zurückwerfung des Lichtes von den Wandungen auszuschließen; denn matte und insbesondre schwarze Körper reflektiren gar keine oder doch die wenigsten Lichtstrahlen (I. 76). Nicht blos die Camera obscura, sondern auch andere optische Instrumente, wie Fernröhren und Mikroskope, werden aus demselben Grunde an ihrer innern Oberfläche geschwärzt; es sollen keine reflektirten, sondern nur direkte Lichtstrahlen in das Auge des Beobachters geführt werden. In derselben Weise wird aber auch das Auge selbst von einer dunkeln Schichte umgeben. Nichts hat so häufig zur Auffindung von Sehorganen geführt, als Ablagerung von Farbstoffen in der Haut der Thiere. Ueberall, wo sich Augen finden, treten mit ihnen schwarze, braune, auch rothe, blaue und grüne Farbstoffe auf. Sie bedecken immer als eine zusammenhängende Schichte die äußere Oberfläche der Netzhaut; ihr Zweck ist hier derselbe, wie in optischen Instrumenten, nämlich die Ausschließung der Lichtreflexion im Innern des Auges. Wie schädlich eine solche Reflexion auf die Vollkommenheit des Sehens einwirkt, ist an Albino's leicht zu beobachten; der Mangel des

Digitized by Google

Farbstoffes der Augen läßt sie nur in der Dämmerung die äußeren Gegenstände deutlich erkennen.

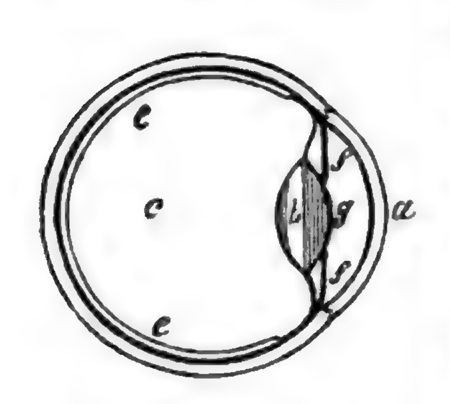
Die Zusammensetzung des Auges, welche sich aus dem eben Gesagten ergibt, wiederholt sich in allen Gruppen des Thierreiches. Vorn durchsichtige Substanzen; zur Seite und im Hintergrunde von diesen die flächenartige Ausbreitung der Sehnerven; endlich das Ganze seitlich und hinten von einer Schichte dunkeln Farbstoffes eingehüllt. Dazu kommt gewöhnlich noch eine äußerste Hülle von sehr festem Bindegewebe, welche das Auge als eigenes Organ abschließt und vor äußeren Unbilden schützt.

Faßt man den Begriff des Auges in dieser Weise auf, so fehlt ein Auge nicht blos den Protozoen, sondern auch andern wirbellosen Thieren. Es müssen hier namentlich die Eingeweidewürmer und unter den spinnenartigen Thieren die parasitischen Milben, z. B. die Krätzmilbe, hervorgehoben werden. Alle diese Thiere halten sich fern vom Lichte, in den Eingeweiden oder unter der Oberhaut anderer Thiere auf; es scheint, daß diese Lebensweise ihnen das Auge völlig entbehrlich macht, und daß dieses Organ, statt als nutzloser Theil vorhanden zu sein, sich gar nicht ausbildet. An diese parasitischen Wirbellosen schließen sich einige unterirdisch lebende Tausendfüßer an; auch bei ihnen hängt die Lebensweise sicher mit der Augenlosigkeit zusammen. Endlich fehlen die Augen den ausgebildeten Rankenfüßern. Diese schwimmen in ihrer Jugend frei umher, und während dieser Zeit besitzen sie auch ein unpaares Auge; aber in der späteren Zeit ihres Lebens befestigen sie sich auf dem Meeresgrunde oder an anderen Gegenständen, und mit dieser Umwandlung ihrer Bewegungsweise geht das Auge verloren. Auch hier weist die Abwesenheit des Auges auf seine Entbehrlichkeit hin. Derselbe Zusammenhang wird bei den Wirbelthieren beobachtet. Parasitisch lebende, niedere Fische, wie Myxine, unterirdisch lebende Säugethiere, wie die Maulwürfe und Blindmäuse, zeigen Augen von höchst unvollkommener Bildung. Der **Augenmangel** muß demnach theils mit der niederen Stellung

Digitized by Google

des Thieres überhaupt, theils mit ganz besonderen Verhältnissen seiner Lebensweise in Zusammenhang gesetzt werden.

Die Ausbildung der Augen selbst verfolgt zweierlei Wege. Sie bezieht sich einmal auf den inneren Bau und dann auf den Zusammenhang des Sehens mit der äußeren Umgebung. Was den Bau betrifft, so zeigt dieser im Ganzen keine große Verschiedenheiten. Im Wesentlichen bleibt sich die Ausbreitung des Sehnerven bei allen Thieren gleich. Nur die durchsichtigen Medien und die Farbstoffschichte des Auges verhalten sich verschieden. Die ersteren bilden in der Regel nicht eine einzige, zusammenhängende Masse, sondern sind aus mehreren Theilen von verschiedener Form und Consistenz zusammengesetzt. Die vordere Begränzung des Auges bildet sehr häufig eine feste, durchsichtige, gewölbte Membran, die Hornhaut (a). In dem



Innern des Auges selbst unterscheidet man ferner sehr häufig zweierlei Substanzen, den weichen Glaskörper (c) und an der vorderen Gränze desselben die härtere, doppeltconvexe Krystalllinse (b). Die Hornhaut ist für die Richtung der einfallenden Lichtstrahlen von geringerer Bedeutung; aber Linse und Krystallkörper bewirken zusammen die Brechung der Strahlen, welche nothwendig ist, um auf der Netzhaut ein entsprechendes Bild der äußern Gegenstände hervorzubringen. Die Vervielfältigung der brechenden Medien bewirkt im Auge gewiß dasselbe, was der Optiker durch Combination mehrerer Linsen bezweckt; es wird die Zerstreuung des Lichtes ausgeschlossen und die möglichst große Schärfe des Bildes erreicht. Hornhaut, Krystalllinse und Glaskörper finden sich schon bei manchen Wirbellosen, bei Würmern, Weichthieren und Insekten; aber für die Wirbelthiere, für Fische, Reptilien, Vögel und Säugethiere dienen sie als gemeinsamer Charakter; auch dem menschlichen Sehorgane sind sie eigen.

Digitized by Google

Die Aderhaut des Auges, in welcher die dunkeln Farbstoffe sich ablagern, erleidet nur Eine bemerkenswerthe Veränderung, welche sich gleichfalls auf die Leitung der Lichtstrahlen in die Tiefe des Auges bezieht. Jene Haut umschließt namentlich bei den Wirbelthieren nicht als ein einfacher Sack die äußere Oberfläche der Netzhaut (e, e), sondern sie bildet in ihrem vordern Rande eine kreisförmige Falte (f, f), welche in das Innere des Auges vorspringt. Dieser Ring, die Iris der Aderhaut, liegt zwischen Hornhaut und Linse, und läßt in seiner Mitte eine rundliche Oeffnung, die Pupille (g). Natürlich fällt durch diese in den Augengrund weniger Licht, als bei fehlender Iris; aber außerdem erweitert und verengert sich die Pupille unter verschiedenen Umständen. Sie erweitert sich in der Dunkelheit und bei der Betrachtung entfernter Gegenstände; sie verengert sich bei größerer Lichtstärke und wenn der Blick auf nahe Körper gerichtet wird. Die Iris dient jedenfalls dazu, das Eindringen zu großer Lichtmassen ins Auge zu verhindern. Zu dieser inneren Vervollkommnung des Auges gesellen sich äußere Schutzorgane bei wenigen Wirbellosen, nämlich bei den Sepien, und bei der Mehrzahl der Wirbelthiere, nämlich bei allen Säugethieren und Vögeln und bei den meisten Reptilien. Vom Rande der Höhle nämlich, in welcher das Auge liegt, entspringen zwei oder drei Hautfalten, die Augenlieder. Die eine Falte liegt nach oben, die zweite nach unten, die dritte bei Vögeln und Reptilien nach innen. Alle drei haben die Aufgabe, die Augen im Schlafe zu bedecken und gegen äußere Schädlichkeiten zu schützen.

Das einzelne Auge steht um so höher, je reicher seine innere Gliederung ist. Aber die Vollkommenheit des Sehens nimmt im Allgemeinen nicht mit der größeren Zahl der Augen zu. Wir müssen es allerdings als eine niedere Stufe des Sehorganes betrachten, wenn nur Ein unpaares Auge vorhanden ist; so verhält es sich bei den jungen Rankenfüßern, so bei einigen verwandten, niederen Krebsen. Der Gesichtskreis dieses Auges ist natürlich in hohem Grade beschränkt; das Thier ver-

Digitized by Google

mag nur nach oben, aber weder nach vorn, noch nach den Seiten zu blicken. Die Vergrößerung des Gesichtskreises wird bei den Wirbellosen meist durch eine größere Zahl ihrer Augen bezeichnet. So sind mehrere Augen schon bei den Polypen und Quallen angedeutet; besonders aber findet sich eine größere Anzahl derselben bei den Ringelwürmern, bei den zweischaligen Muscheln und bei den spinnenartigen Thieren. Offenbar blicken hier die Augen immer nach den Seiten hin, von welchen die Nahrung kommt, oder nach welchen die Bewegung gerichtet ist. Die Ringelwürmer z. B. schreiten nicht blos vor-, sondern auch rückwärts, und ihre Augen stehen nicht blos am vorderen, sondern auch am hinteren Körperende. Die kopflosen Thiere der zweischaligen Muscheln tragen ihre Augen am Rande ihres Mantels. Aber mit der Ausbildung eines wirklichen Kopfes als des vorderen Körperendes drängen sich auf diesem auch die Sehorgane zusammen. Der Kopf leitet jetzt die Bewegungen, wie die Nahrungsaufnahme. So stehen bei den Spinnen die Augen auf dem vorderen, noch nicht ganz abgeschiedenen Ende des Körpers. So tragen die Tausendfüßer vier bis acht, ja bis zu vierzig Augen in Reihen oder Haufen an den Seiten des ausgebildeten Kopfes.

Dadurch ist der Uebergang gemacht zu den zusammengesetzten Augen vieler Krustenthiere und des größten Theiles der Insekten. Statt daß bei den früher genannten Thieren die Augen nur nahe zusammenrücken, verbinden sie sich hier an beiden Seiten des Kopfes zu zwei breitgewölbten Organen. Jedes dieser zusammengesetzten Augen besteht aus einer großen Anzahl einfacher Augen; es enthält eine große Zahl, bisweilen mehr als tausend kleine Pyramiden, deren Spitze an der Vertheilung des Sehnerven, deren Basis nach außen liegt, und von welchen jede in ihrem Innern Netzhaut, Farbstoffschichte, Glaskörper, Linse und Hornhaut unterscheiden läßt. Die Hornhäute aller dieser Einzelaugen schmelzen zu einer einzigen, durchsichtigen Haut zusammen, und diese ist entweder gleichförmig ge-

Digitized by Google

wölbt, oder läßt sie in vier- und sechseckigen Facetten die Zusammensetzung aus kleineren Hornhäuten erkennen. Was mit diesen Insektenaugen erreicht wird, liegt klar zu Tage. Die vereinzelten Gesichtseindrücke, welche in den zerstreuten Augen der andern Wirbellosen entstehen, werden hier in Einen Gesammteindruck zusammengefaßt. Die punktförmigen Bilder der Einzelaugen vereinigen sich im zusammengesetzten Auge zu einem großen, umfassenden Mosaikbilde. So stehen die Insekten in Bezug auf ihr Sehen viel höher, als die meisten anderen Wirbellosen; ihr Gesichtsfeld ist viel größer und ihre Gesichtseindrücke kommen als Ganze zum Bewußtsein. Sie sind für ihre raschen Bewegungen mit leitenden Organen vortrefflich ausgerüstet.

Aber hinter den Wirbelthieraugen stehen doch die Insektenaugen zurück. Bei allen Wirbelthieren finden sich nur zwei einfache Augen an den Seiten des Kopfes. Was an Gesichtsfeld bei dieser kleinen Zahl der Augen verloren geht, das wird durch die freie Beweglichkeit der Augen ersetzt. Die Insekten halten während des Sehens ihren Kopf unbewegt; alle Wirbelthiere hingegen wenden theils ihren Kopf, theils an diesen die Augen selbst den äußeren Gegenständen zu. Die Sepien und Schnecken nähern sich in dieser Beziehung den Wirbelthieren. Hier wird also durch eine mechanische Vorrichtung dasselbe geleistet, was bei den Insekten die große Zahl der Augen erreichte. Dazu kommt aber, daß der Gesichtseindruck nothwendig in einfachen Augen noch viel mehr ein einziger, ganzer sein muß, als in den zusammengesetzten Insektenaugen. Wir stellen also die Wirbelthieraugen den Insektenaugen in Bezug auf das Gesichtsfeld gleich; wir stellen sie über diese in Bezug auf die Einheit des Effektes, welchen sie im Bewußtsein hervorrufen. Diese Einheit erreicht aber ihren höchsten Grad bei den Affen, vornehmlich beim Orang und Schimpanse. Hier stehen die Augen nicht mehr zur Seite, sondern gleichmäßig nach vorn. Hier gehört also nicht mehr ein großer Theil der Gesichtseindrücke nur Einem

Digitized by Google

Auge an; sondern beide Augen sehen die meisten Gegenstände zugleich und in derselben Weise. Hier erregen nicht blos jedes Auge für sich, sondern beide Augen zusammen einen einzigen Sinneseindruck. Die höchsten Affen stehen in dieser Beziehung dem Menschen sehr nahe.

So wird das Auge nicht blos nach seinem Bau, sondern auch nach seiner Lage auf die Stufe der möglichsten Vollkommenheit erhoben. Die Vervollkommnung geschieht bei den Insekten äußerlich, durch Häufung der Organe. Bei den Wirbelthieren aber wird mit der kleinsten Zahl der Organe, mit zwei Augen, das Größte geleistet. So verhält es sich überall im Organischen; nicht die äußere Vielfachheit, sondern die größte innere Energie eines Organes bezeichnet den Gipfelpunkt der Ausbildung. Dem Gesichtssinne genügt auf diesem Punkte ein einziges Paar beweglicher, nach vorn gerichteter Organe.

Das Auge zeigt dem Thiere Alles, was in der Umgebung seinem Leben zuträglich oder schädlich ist. Durch das Sehorgan wird das Thier fähig, seine Beute zu erfassen und seinem Feinde zu entfliehen. Vergleicht man aber diese beiden Beziehungen unter sich, so wird klar, daß das Auge bei kräftigen Thieren mehr entwickelt ist, als bei schwachen, daß es mehr den Eingriffen in fremde Existenzen, als der blosen Erhaltung des eigenen Lebens dient. Umgekehrt verhält sich das Gehörorgan; es erreicht seine besondere Entwicklung mehr bei schwachen und scheuen Thieren; es dient weniger beim Angriffe, als auf der Flucht. Ueberhaupt aber bewegen die Gehöreindrücke die Seelen der Thiere tiefer, als die Gesichtseindrücke. Wie das Thier in der Stimme seine innersten Zustände ausdrückt, so wird es auch durch Töne stärker ergriffen. Vorzüglich tritt das Gehörorgan mit der Geschlechtsfunktion der Thiere in nahe Beziehung. Stimme und Ohr nähern die Geschlechter nicht nur der meisten Wirbelthiere, sondern auch mancher Wirbellosen.

Wir haben gezeigt, wie im Auge der Sehnerv sich flächenartig ausbreitet. Von dem Gehörnerven kann nicht ganz

Digitized by Google

dasselbe gesagt werden; doch treten seine Fasern an ihrem Ende auseinander, um sich über die innere Oberfläche des Organes zu verbreiten. Auch im Ohre ist natürlich der Gehörnerv die Hauptsache. Aber wie im Auge durchsichtige Medien die Lichtwellen zum Sehnerven leiten, so gelangen die äußeren Schallwellen zum Gehörnerven immer durch schwingende Körper. Die einfachste Form des Gehörorgans ist ein geschlossenes Säckchen, welches mit Flüssigkeit gefüllt ist, und auf dessen Wänden sich die Fasern der Gehörnerven endigen. So verhält es sich bei den Thieren der ein- und zweischaligen Muscheln, bei den Ringelwürmern und vielleicht bei einzelnen Quallen und Polypen. Aber in allen, auch den einfachsten Gehörorganen kommt zu diesen zwei Theilen, von welchen der eine den Eindruck leitet, der andere ihn aufnimmt, noch ein dritter Theil hinzu. An keiner Stelle des ganzen Thierkörpers findet man nämlich so bestimmt Kalksalze abgelagert, als im Innern oder in der nächsten Umgebung der Gehörorgane. Sie erscheinen sehr häufig als kleine Steinchen, welche in der Flüssigkeit des Gehörsäckchens schweben; solche Gehörsteinchen finden sich bei allen obengenannten Wirbellosen, dann bei den Sepien und unter den Wirbelthieren auch bei den Fischen. Außerdem aber lagern sich Kalksalze auch in den Wandungen der Gehörorgane ab, und wo diese besonders fest sind, fehlen die Gehörsteine. So ist die Umgebung schon härter bei den Krustenthieren, Insekten und Sepien; ihre Härte steigt aber noch viel mehr bei den Reptilien, Vögeln und Säugethieren. Der Knochen, welcher das Gehörorgan der Säugethiere einschließt, ist der härteste des ganzen inneren Skeletes.

Wir vergleichen diese festen Theile des Gehörorgans mit den Farbstoffablagerungen der Augen. Wenn diese die überflüssigen Lichtstrahlen absorbiren und dadurch jeden Lichtreflex im Innern des Auges verhindern, so dürften jene festen Theile die Funktion des Gehörorganes besonders durch ihre leitenden Eigenschaften befördern. Feste Körper sind bessere Schallleiter

Digitized by Google

als flüssige (I. 62). Hat daher der äußere Schall die Flüssigkeit der Gehörsäckchen in Schwingungen versetzt, so sind es die festen Wandungen oder die Steinchen des Gehörorgans, welche die Schallwellen rasch weiter leiten und sie dadurch verhindern, mehr als nur augenblicklich auf die Endigungen der Gehörnerven einzuwirken. Längere Nachschwingungen wären im Gehörorgane nicht weniger schädlich als im Auge.

Der leitende, der aufnehmende und der schützende Theil des Gehörorganes wiederholen sich bei allen Thieren, welche nicht, wie die Protozoen und Eingeweidewürmer, alle eigentlichen Gehörorgane entbehren. Aber die Stufen der Ausbildung sind beim Ohre viel mannigfaltiger als beim Auge; von dem einfachen Sacke aus vergrößert und verzweigt sich das Gehörorgan theils nach innen, theils nach außen. Wir verfolgen seine Ausbildung zuerst in der letzteren Richtung; in dieser handelt es sich nur von Apparaten der Schallleitung.

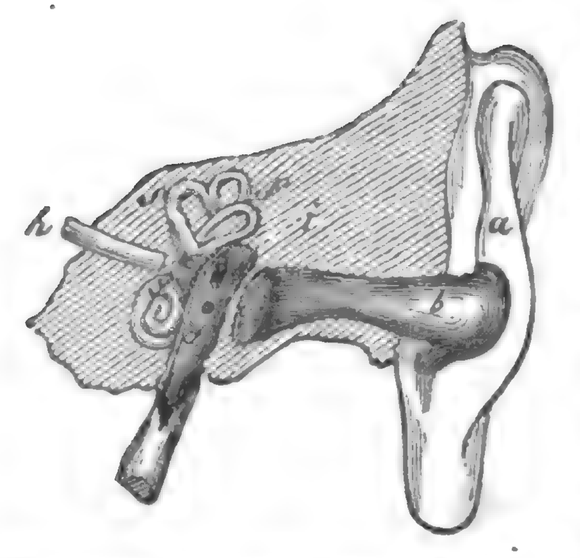
Wir haben oben die Thiere aufgezählt, bei welchen das Gehörorgan nur von einem Säckchen gebildet wird, an dessen Oberfläche sich der Gehörnerv ausbreitet, und in dessen Innerem sich eine Flüssigkeit und Gehörsteine befinden. Bei allen diesen Thieren nimmt jeder Theil des Gehörsäckchens so gut wie der andre die Schallschwingungen auf; sie werden dem Sinnesorgane bisweilen erst durch die übrige Körpermasse zugeführt. Der größere Theil jener Thiere lebt im Wasser, und auch bei anderen Wasserthieren zeigt sich das Gehörorgan, wenn auch sonst höher entwickelt, auf dieselbe Weise nach außen verschlossen. So fehlt ihm eine äußere Oeffnung bei den Sepien und bei den meisten Fischen; es liegt hier eingekapselt in den Wandungen des Kopfes. Aber schon bei einigen wenigen Fischen finden sich Oeffnungen an der Seite des Kopfes, welche mit dem Gehörorgane in Verbindung und durch dünne Häute verschlossen sind. In der äußern Wandung des inneren Ohres entwickelt sich so eine Stelle, welche durch ihre schwingende Membran zur Zuleitung der Schallwellen vorzüglich geeignet ist. Diese

Digitized by Google

einfache, trommelfellartige Haut ist auch unter den Krustenthieren bei den Krebsen, unter den geradflügligen Insekten bei den Feldheuschrecken gefunden worden. Bei diesen Wirbellosen stellt das Gehörorgan eine einfache Kapsel dar, welche mit Flüssigkeit gefüllt und durch eine schwingende Membran verschlossen ist. Man darf hoffen, ähnliche Organe auch bei den übrigen Krustenthieren und Insekten, sowie bei den Spinnen aufzufinden.

Aber es bleibt nicht bei diesem einfachen Apparate. Nur die niedersten, nackten Reptilien zeigen noch das einfache, durch eine Membran geschlossene Loch der wirbellosen Thiere. Schon bei den Salamandern und bei allen Schlangen wird die Haut dieses Loches, des sogenannten ovalen Fensters, noch von einem länglichen, kleinen, nach außen vorragenden Knochen bedeckt. Bei den Schildkröten aber, bei den Eidechsen und Reptilien befestigt sich das äußere Ende des Gehörknochens an einer zweiten Membran, an dem Trommelfell. Zwischen Trommelfell und ovalem Fenster entwickelt sich jetzt die Höhle des mittleren Ohres. Sie ist den höheren Reptilien, den Vögeln und Säugthieren gemeinschaftlich; die Schallleitung vom Trommelfell zur Membran des ovalen Fensters geschieht bei den Reptilien und Vögeln durch Ein, bei den Säugethieren durch drei und mehrere Gehörknöchelchen. Bei den Reptilien liegt endlich das Trommelfell noch an der Oberfläche des Schädels; aber bei den Vögeln bildet sich ein kurzer äußerer Gehörgang, welcher die Schallwellen zum Trommelfell leitet, und dieser Gang wird bei den Säugethieren nicht nur länger, sondern er erweitert sich auch zu der Ohrmuschel, welche die Schallwellen sammelt und dem Gehörgange zuführt. So erhebt sich der schallleitende Apparat von den nackten Reptilien bis zu den Säugethieren zu einer immer größeren Zusammengesetztheit. Verfolgt man ihn bei den Säugethieren von außen nach innen, so kommt zuerst die knorpelige Muschel (a), welche den Schallwellen die Richtung gegen den Gehörgang gibt, dann der äußere Gehörgang (b), welcher die Schallwellen gesammelt

Digitized by Google



dem Trommelfelle zuführt. Das Trommelfell (c) ist die erste Membran, welche durch die Schallwellen in Schwingung versetzt wird. Sie theilt ihre Bewegungen der Reihe der Gehörknöchelchen mit, und diese tragen den Schall durch die Trommelhöhle (d) zur Membran des ovalen Fensters (i), d. h. zum Eingange in das innere Ohr. Ueber diese Schallleitung können wir uns genaue Rechenschaft geben; aber es fehlt noch ganz an Anhaltspunkten für die Beurtheilung der einzelnen Theile des inneren Ohres.

Bei den Säugethieren unterscheidet man im inneren Ohr den mittleren Theil oder Vorhof (e) und mit diesem zusammenhängend auf der einen Seite drei halbcirkelförmige Kanäle (f), auf der andern Seite einen schneckenförmig gewundenen Gang, die Schnecke (g). Alle diese Höhlen sind mit Flüssigkeit erfüllt. Das ovale Fenster gehört dem Vorhofe an; aber auch die Schnecke communicirt mit der Trommelhöhle durch eine rundliche Oeffnung, welche gleichfalls mit einer Membran verschlossen ist. Der Gehörnerv (h) aber schickt Aeste theils zum Vorhof, theils zur Schnecke, theils zu den halbcirkelförmigen Kanälen. Die Funktion dieser drei Abtheilungen ist uns völlig unbekannt; wir kennen nur ihr wechselndes Verhalten in den einzelnen Thierklassen. Die ausgebildete Schnecke zeigt die höchste Stufe des Gehörorganes; sie findet sich nur bei den Säugethieren. Schon bei den Vögeln wird die Schnecke unvollkommen, und sie verschwindet ganz bei den froschartigen Reptilien und bei den Fischen. Dagegen fehlen die halbcirkelförmigen Kanäle in keiner Klasse der Wirbelthiere; bei den Wirbellosen fehlen sie immer, und nur die Sepien erinnern an sie durch Ausbuchtungen ihrer Gehörsäcke. Es bleibt bei den

Digitized by Google

Wirbellosen nichts übrig, als der Vorhof; dieser ist es, der in seiner einfachsten Form als bloses Gehörsäckchen auftritt.

Klar ist es, wie von diesem Gehörsäckchen aus nach innen die halbcirkelförmigen Kanäle und die Schnecke, nach außen das mittlere und äußere Ohr sich entwickeln. Wir verstehen wohl die letzteren, schallleitenden Partien. Aber von den einzelnen Theilen des inneren Ohres können wir nur vermuthen, daß sie die feinere Uebertragung der Schallwellen vom Gehörorgane auf den Gehörnerven vermitteln. Die Physik hat in diesen Theilen noch große Räthsel zu lösen.

Die Zahl und die Lage haben wenig Einfluß auf die Entwicklungsstufe der Gehörorgane. Denn in der Regel sind diese Organe paarig und am vorderen Körperende des Thieres befestigt. Wie der Sinn des Gehöres mehr den innersten Seiten des Lebens zugekehrt ist, so bewegen sich auch die Abstufungen seines Organes nicht in äußerlichen Beziehungen, sondern in der inneren Struktur und Gliederung des Organes. Je reicher gegliedert, desto vollkommener wird das Gehörorgan.

In der Körperoberfläche, aus welcher die Organe des Gehörs und Gesichtes ausgeschieden sind, entwickelt sich bald auch das Organ des Geruchsinnes. Dieses kann eigentlich nur bei luftathmenden Thieren gedacht werden; denn nur bei diesen ist die Körperoberfläche mit freien Gasen in Berührung. In der That läßt es sich nicht bezweifeln, daß alle luftathmenden Thiere riechen; aber nur bei den Wirbelthieren ist bis jetzt die Nachweisung des Geruchsorganes gelungen. Man hat dieses Organ bei den Insekten an verschiedenen Stellen gesucht; es scheint aber, daß die Antennen an den Geruchsempfindungen vorzüglich Antheil haben. Die Geruchsorgane der Reptilien, Vögel und Säugethiere bestehen immer aus einem paarigen Kanale, dessen hinteres Ende mit den Athmungsorganen, dessen vorderes mit der Luft in Berührung steht. Die Wände dieses Kanales werden von einer feinen Schleimhaut ausgekleidet, auf welcher sich der Riechnerv verzweigt. Die Riechhaut bedarf zur

Digitized by Google

Ausführung ihrer Funktion immer eines gewissen Grades von Anfeuchtung. Dieß ist aber auch das Einzige, was wir bei den Geruchsorganen über den Zusammenhang der Funktion und des Baues wissen. Die Erhöhung der Thätigkeit wird durch eine Vergrößerung der Oberfläche, durch eine mannigfache Faltung der Riechschleimhaut vermittelt. Wir wissen noch weniger über die Riechorgane der Wasserthiere. Bei den Fischen und Sepien stellen sie einfache Gruben dar, welche am Kopfe liegen und von einer weichen, häufig gefalteten Schleimhaut ausgekleidet sind. Von einem eigentlichen Riechen kann in diesem Gruben nicht die Rede sein; der Sinneseindruck dürfte sich hier eher dem Geschmacke nähern.

Eigentliche Geschmacksorgane finden sich nur bei den Säugethieren. Sie sind hier an die fleischige Zunge gebunden, welche mit ihrer weichen und feuchten Oberfläche die Nahrungsmittel berührt. Man vermuthet überhaupt immer ein Geschmacksorgan, wo sich eine solche fleischige Zunge findet. Dieß ist aber sehr selten der Fall, so unter den übrigen Wirbelthieren fast nur beim Papagei, unter den Wirbellosen bei den Sepien und bei einigen kauenden Insekten. Wie das Geschmacksorgan unter allen anderen Sinnesorganen am spätesten auftritt, so wissen wir auch bei ihm am wenigsten von den Apparaten, welche dem Geschmacksnerven die äußeren Sinnneseindrücke zuführen.

Nach Ausscheidung dieser vier specifischen Sinnesorgane bleibt die allgemeine Körperoberfläche allein noch übrig. Das Dunkle, was ihre Eindrücke bei den Protozoen haben müssen, verschwindet um so mehr, je schärfer Gesicht, Gehör, Geruch und Geschmack sich vom Hautsinne scheiden. Für die Haut bleibt nichts übrig, als der Sinn für äußere Temperatur und für die Gestalt der umgebenden Körper. Jener Wärmesinn ist weit unbestimmter und bringt im Bewußtsein nicht sowohl bestimmte Vorstellungen, als nur die Empfindungen von Lust und Unlust hervor. Dieser, der Tastsinn, dient zur genauesten Erforschung der Gestalten. Wo die Haut tastet, da

Digitized by Google

ist sie weich und nachgiebig; indem sie von dem äußeren Körper zusammengedrückt wird, empfangen ihre Nerven den Eindruck der Körpergestalt. Aber die Haut dient dem Tastsinne nicht gleichmäßig. Von den Protozoen an durch alle Klassen der Wirbellosen und Wirbelthiere finden sich weiche Hervorragungen der äußeren Haut, Wimper, Tentakel, Taster, Antennen, Bartfäden, endlich die Zehen und Finger der Wirbelthiere; und diese Hervorragungen sind der besondere Sitz des Tastsinnes. Sie erwarten nicht die Annäherung des fremden Körpers, sondern sie suchen diesen auf, um Eindrücke von der Beschaffenheit seines Aeußern zu erhalten. Diese Verwendung lokomotorischer Organe zum Zwecke einer Sinnesempfindung macht eben dasjenige aus, was man gewöhnlich betasten nennt. Die Nerven werden auf bestimmte Weise afficirt, indem die nervenreiche Haut an die äußeren Körper angedrückt wird. Diese besonderen Tastorgane sind indeß nicht blos durch ihre äußere Form, sondern auch durch ihren Nervenreichthum vor der übrigen Haut ausgezeichnet. Wie der Hautsinn durch äußere Skelete beeinträchtigt wird, kann erst später gezeigt werden.

Gesicht, Gehör, Geruch und Geschmack treten aus der Körperoberfläche der Thiere als besondere Sinne, mit besonderen Organen heraus. Erst nach dieser Ausscheidung gewinnt auch der Hautsinn für die Auffassung der äußeren Gestalt und der Temperaturverhältnisse der umgebenden Körper die gehörige Schärfe. Die Schwingungen des Lichtes und Schalles, die unbekannten physikalischen Vorgänge des Schmeckens und Riechens erhalten alle im thierischen Körper besondere, genau entsprechende Organe. Die gewöhnliche mechanische Bewegung und die Wärmeschwingungen der Körper wirken auf ein und dasselbe Organ, auf die Haut, aber in verschiedener, deutlich getrennter Weise. Wir haben nur noch die Electricität zu erwähnen, welche in keinem Thiere ein besonderes Sinnesorgan für sich hat, aber darum doch in der verschiedensten Weise auf den thierischen Organismus einwirkt. Die elektrische Kraft afficirt jedes Sinnes-

Digitized by Google

organ in der Weise, welche diesem angemessen ist. Im Auge bringt sie die Empfindung des Lichtes, im Ohr den Eindruck des Schalles hervor; in Nase und Zunge scheint sie Gerüche und Geschmäcke zu erregen; auf der Haut endlich bewirkt sie die Empfindung von Prickeln und Wärme. Den übrigen physikalischen Agentien gegenüber erscheint die Elektricität als das umfassendste; aber sie steht hinter jenen dadurch bedeutend zurück, daß sie nicht als solche, sondern nur unter der Gestalt der übrigen Agentien vom thierischen Körper wahrgenommen wird.

Die umfassende Bedeutung, welche die Elektricität für die Sinnesthätigkeit der Thiere gewinnt, hängt genau mit der Stellung der elektrischen Kraft überhaupt zusammen. Kein anderes Agens geht mit allen übrigen so umfassende Beziehungen ein; keines tritt insbesondere mit der Nervenkraft der Thiere in so innige Berührung. Wie die Elektricität die Nerven der Bewegungsorgane bestimmt, den Anstoß zur Bewegung der Muskel zu geben, so verhält sie sich als Reiz auch zu allen, nicht blos zu einzelnen Sinnesnerven. Für das ganze Nervensystem muß die Elektricität nächst der Nervenkraft als der am meisten entsprechende Reiz angesehen werden. Der Nervenkraft, als dem inneren Princip, steht die elektrische Kraft als das verwandteste, äußere Princip gegenüber.

In dieser Uebersicht der Sinnesorgane sind überall die allgemeinen Gesetze sowohl der organischen Bildung, als der allgemeinen Physik deutlich hervorgetreten. Wie die Oberfläche der Verdauungsorgane in mehrere Abschnitte zerfällt, von welchen jeder einer besonderen Seite des Verdauungsprocesses entspricht, so scheiden sich aus der äußeren Körperoberfläche mehr und mehr die Organe aus, welche für die Wahrnehmung der äußeren physikalischen Agentien bestimmt sind. Die Organisation ist auch hier um so vollkommener, je bestimmter die einzelnen Seiten der Sinnesthätigkeit auch einzelne Organe für sich haben. Jedes Organ ist nach physikalischen Gesetzen dem Eindrucke angemessen, welchen es dem Sinnesnerven zuzuführen hat. Seine Orga-

Digitized by Google

nisation steigt aber nicht durch Vervielfältigung des Organes; sondern sie wird um so vollkommener, je mehr das Organ durch innere Gliederung allen Zwecken der einzelnen Sinnesthätigkeit zu genügen vermag. Auch diese innere Gliederung entspricht vollkommen den Gesetzen der Physik; sie geht häufig noch weiter, als unsere Wissenschaft der Physik bis jetzt zu folgen vermag.

Wir fanden die Verdauungssäfte in chemischer Beziehung den Speisen angemessen, deren Verflüssigung sie übernehmen. Noch viel klarer ist es, daß jedes Sinnesorgan dem Eindrucke, den es aufzunehmen hat, entspricht. Die Harmonie des Organismus mit seiner Umgebung tritt hier entschiedener, als irgendwo sonst, zu Tage. Wer wollte es versuchen, die Organisation der einzelnen Sinneswerkzeuge aus der Einwirkung der äußeren Agentien zu erklären? Alle solche Versuche führen nur aus der einen Verwirrung in die andere, und der einzige Ausweg bleibt auch hier die Annahme der göttlichen Erschaffung der Thiere. Nur ein allweises, freischaffendes, an keinen Stoff gebundenes Wesen vermochte die Einrichtungen hervorzubringen, welche durch ihre Angemessenheit und Zartheit der Gegenstand der Bewunderung seit den frühesten Zeiten gewesen sind.

Wir gehen von den Sinnesorganen zu jenen Werkzeugen über, durch welche das Thier auf das physikalische Verhalten seiner Umgebung einwirkt. Hier müssen die

F. elektrischen Organe

zunächst abgehandelt werden. Wir sprechen hier nicht von jener andauernden Elektricitätsentwicklung, welche man vorzüglich an den Formelementen des Nerven- und Muskelgewebes beobachtet; sondern wir meinen die besonderen, zusammengesetzten Apparate, welche bei mehreren Fischen elektrische Effekte hervorbringen, und deren Entladungen unter dem Einflusse des Willens jener Thiere stehen. Es gehört zum Charakter dieser Apparate wesentlich, daß sie durch ihre Entladung auf ihre Umgebung in derselben Weise einwirken, wie Elektrisirmaschinen oder galvanische Ketten.

Digitized by Google

Der Schlag, welchen der Beobachter bei der Berührung erhält, die Lichtentwicklung und die chemischen Wirkungen sind hier im Wesentlichen dieselben, wie bei gewöhnlichen physikalischen Vorrichtungen.

Bei der Betrachtung der elektrischen Organe fällt es vor Allem auf, daß sie nur in Einer Klasse der Wirbelthiere, bei den Fischen und nur bei wenigen Arten aus dieser Klasse aufgefunden worden sind. Was von elektrischen Organen aus anderen Thierklassen berichtet wird, ist, wenn nicht völlig unrichtig, doch jedenfalls höchst zweifelhaft. Unter den Fischen selbst aber sind die elektrischen Eigenschaften nur beim Zitterrochen, beim Zitteraal und beim Zitterwels mit Sicherheit nachgewiesen. Nimmt man auch an, es werde künftigen Beobachtern gelingen, noch bei anderen Thieren elektrische Apparate aufzufinden, so werden diese Organe doch immer zu den seltensten gehören. Die Entladungen, welche die Fische willkührlich hervorbringen können, dienen ohne Zweifel theils zur Abwehr der Feinde, theils zur Erlegung der Beute; denn vorzüglich bei kleineren Wirbelthieren, bei Fischen, bringen die Schläge der elektrischen Organe eine Betäubung hervor, welche bei größeren Thieren und beim Menschen nur viel stärkere Apparate zu bewirken vermögen. Die elektrischen Organe treten also in Eine Reihe mit den übrigen Vorrichtungen, die den Thieren zur Abwehr oder zum Angriffe gegeben sind. Aber sie stellen unter allen Organen, welche den gleichen Zweck verfolgen, bei Weitem die räthselhaftesten dar. Hier wäre es viel mehr am Platze gewesen, an das Wirken dämonischer Mächte zu denken, als bei den weitverbreiteten Giften der Thiere; aber seltsamer Weise scheint Niemand daran gedacht zu haben, diese Organe einem bösen Principe zuzuschreiben. Wir finden auch die elektrischen Apparate nur in ihrer Einrichtung, aber nicht in ihrem Zwecke wunderbar. Wir haben sie indeß schon früher (II. 248) den übrigen, unwillkührlich erfolgenden, elektrischen Vorgängen des thierischen Körpers angereiht.

Digitized by Google

Der Zitterrochen und der Zitteraal sind, was den Bau und die Thätigkeit ihrer elektrischen Organe betrifft, bis jetzt am genauesten untersucht; und sie stimmen in beiden Beziehungen auf eine überraschende Weise mit einander überein. Jene Organe werden in beiden Fischen aus einer großen Anzahl dünner und langer, meist sechsseitiger Säulen zusammengesetzt. Jede dieser Säulen wird außen von einer festen Scheide (a) umgeben, welche aus Sehnengewebe, d. h. aus dicht gedrängten, parallelen, innig verbundenen Bindegewebfasern besteht. Aber die Hauptsache ist der Inhalt dieser Säulen. Ihre Masse ist nicht gleichförmig, sondern es wechseln in ihrem Innern Schichten von verschiedener Consistenz mit einander ab. Von der inneren Oberfläche der Säulenscheide gehen nämlich quere sehnige Scheidewände (b) aus, welche jede Säule in eine größere oder kleinere Zahl von niederen, rings geschlossenen Fächern theilen. Die innere Oberfläche jedes Faches wird von einer dünnen Schichte von Epithelialzellen (c) ausgekleidet, und die Höhle der Fächer wird ganz von einer hellen Flüssigkeit (d) ausgefüllt. Verfolgt man daher eine solche Säule von dem einen Ende zum andern, so kommt zuerst eine sehnige Scheidewand, dann eine Epithelialschichte, dann eine Schichte von Flüssigkeit; weiter folgen wieder Epithelium, Scheidewand, Epithelium, Flüssigkeit u. s. w. Dieser Wechsel wiederholt sich sehr oft. Im Zitterrochen z. B. fand Valentin auf Eine Linie Höhe 59 Scheidewände. Die Säulchen zeigten im Mittel etwas über 5 Linien Höhe; die Zahl der Säulchen betrug in Einem Organe 410, und die Zahl aller Scheidewände oder Fächer Eines Organes würde also 12,000 übersteigen. Im Zitteraal kämen nach diesen Berechnungen auf ein einziges Organ fast 2 Millionen Scheidewände. Man erkennt aus diesen Zahlen sehr leicht den hohen Grad von innerer Gliederung, welcher die elektrischen Organe auszeichnet.

Auf den ersten Blick scheint jedes Säulchen des elektrischen

Digitized by Google

Organes mit einer voltaischen Säule (I. 131) durchaus vergleichbar zu sein. Dort wie hier wechseln Schichten von verschiedenartigen Substanzen in regelmäßiger Weise mit einander ab; die wiederholte Aufeinanderfolge von Kupfer, Zink und einem feuchten Leiter schien in der Abwechslung der Scheidewände und der Flüssigkeit in den elektrischen Organen ihr volles Analogon zu finden. Aber bei näherer Betrachtung findet sich, daß den elektrischen Organen sowohl in ihrem Baue als in ihrer Thätigkeit noch Mehreres zur völligen Uebereinstimmung mit galvanischen Apparaten fehlt. Allerdings wechseln verschiedenartige Substanzen in den Säulchen ab, aus welchen jene Organe bestehen. Aber es fehlt der Nachweis der Schichten, welche theils den beiden, elektromotorisch (I. 127) wirkenden Metallen, theils dem flüssigen Leiter der galvanischen Kette entsprechen würden; die Rollen, welche die einzelnen Glieder in der Hervorbringung des elektrischen Effektes übernehmen, lassen sich in den elektrischen Organen noch keineswegs mit Bestimmtheit austheilen. Hier ließe sich jedoch eine Ergänzung des Fehlenden von künftigen Forschungen erwarten. Aber noch entschiedener weichen die elektrischen Organe in der Hervorbringung ihrer Effekte von den galvanischen Apparaten ab.

Bei der voltaischen Säule reicht die regelmäßige Aufeinanderfolge von Kupfer, Zink und feuchtem Leiter hin, um Elektricität zu erregen, um die Säule zu laden, um das eine Ende der Säule positiv, das andere negativ zu machen. Vereinigt man die beiden Pole einer solchen Säule durch einen Leiter, so findet unmittelbar die Entladung derselben statt. Aber das elektrische Organ der Fische entladet sich nicht unmittelbar, wenn seine beiden Enden durch einen Leiter, z. B. durch den menschlichen Körper verbunden werden; es gehört vielmehr, damit die Entladung erfolgt, immer noch ein Willenseinfluß oder überhaupt ein Nerveneinfluß des Thieres hinzu. Es gibt nämlich kaum ein Organ, welches an Nervenreichthum die elektrischen Organe übertrifft. Zweige von Hirn- und Rückenmarksnerven breiten

Digitized by Google

sich überall in den dünnen Scheidewänden der einzelnen Säulchen aus. Zu diesen Nerven verhalten sich nun die elektrischen Organe ganz so, wie wir es früher von den Muskeln angegeben haben. Wie im normalen Zustande die Thätigkeit der centrifugalen Nerven nothwendig ist, damit die Muskelfaser zu ihrer Verkürzung angeregt wird, ebenso entladet sich das elektrische Organ nur auf einen Reiz, der von seinen Nerven ausgeht. Die Nerventhätigkeit ist auch hier eine doppelte, theils eine willkührliche, theils eine unwillkührliche (II. 245); das Thier ertheilt Schläge theils mit Bewußtsein, theils durch blosen Reflex nach Reizungen der Haut oder der Athmungsorgane. Wie endlich nach dem Tode ein elektrischer Strom, der durch den Muskelnerven geht, den erregenden Eindruck der Nerven auf die Muskel bis zu einem gewissen Grade ersetzen kann, so wird auch die Entladung des elektrischen Organes durch einen elektrischen Reiz hervorgerufen, der auf die Nerven des Organes wirkt.

Vermöge dieser Abhängigkeit der Entladung vom Nervensysteme können die elektrischen Fische ebensowohl einzelne Theile, als die Gesammtheit der elektrischen Organe willkührlich entladen. Aber nur auf diese Weise geben sie ihren Schlägen eine bestimmte Richtung; denn davon kann keine Rede sein, daß sie auch außerhalb ihres Körpers ihre Schläge bald nach dieser bald jener Seite hin richten könnten. Die Elektricität, welche sie entwickeln, ist unter allen Umständen den gewöhnlichen Gesetzen der elektrischen Leitung unterworfen. Im Momente der Entladung verhält sich nämlich jede Säule des Organes an dem einen Ende negativ, an dem andern positiv; und alle Säulen liegen so, daß ihre gleichnamigen Pole nach derselben Seite gekehrt sind. Beim Zitterrochen stehen alle Säulen senkrecht zwischen Rücken und Bauch, und die Rückenseite verhält sich positiv, die Bauchseite negativ. Beim Zitteraal liegen die Säulen horizontal zwischen Kopf- und Schwanzende, und der Kopf wird positiv, der Schwanz negativ. Wie nun die Entladung einer galvanischen Kette nur durch Leiter geschieht, welche ver-

Digitized by Google

schiedene Punkte und vorzüglich die beiden Pole der Kette berühren, so erhält man Schläge von den elektrischen Fischen nur bei Berührung mehrerer, entfernter Körperstellen. Die Entladung geschieht also bei den elektrischen Organen, wie bei gewöhnlichen galvanischen Apparaten, durch einen Leiter, welcher die verschiedenen Pole verbindet. Aber das Unerklärliche bleibt hier der Antheil, welchen das Nervensystem an der Entladung nimmt. Bewirkt der Nerveneinfluß erst die elektrische Spannung und Ladung des Organes, oder geht die Elektricitätsentwicklung in diesem ununterbrochen fort, und erzeugt der Nerveneinfluß nur die äußere Entladung, während sonst die elektrischen Gegensätze fortwährend im Innern des Organes ausgeglichen werden?

Diese Fragen müssen bis jetzt unbeantwortet bleiben. Offenbar gleichen die elektrischen Organe in sehr vielen Stücken einem Apparate, in welchem Elektricität durch Contakt verschiedenartiger Substanzen erregt wird. Aber jene Organe sind doch nicht einfache physikalische Vorrichtungen; ein organisches Moment, der Nerveneinfluß, nimmt wesentlich an der Hervorbringung ihrer Effekte Theil. Dadurch bleibt ihre Thätigkeit bis jetzt noch dunkel; und es ist dasselbe organische Princip, auf welches noch andere Eigenthümlichkeiten in dem Leben der elektrischen Fische hinweisen. Muskel werden durch Elektricität zur Bewegung bestimmt; aber beim Zitteraal verkürzen sich die Muskel der Schwanzflosse nicht, wenn der Schlag des tieferliegenden elektrischen Organes durch sie durchgeht. Fische, Pferde, Menschen empfinden die Schläge der Zitterfische, mit welchen sie sich in einem und demselben Wasserbehälter befinden; aber die elektrischen Fische selbst scheinen für die Schläge anderer Fische unempfindlich zu sein. Wir müssen unser Unvermögen zur Erklärung dieser räthselhaften Erscheinungen bekennen. Aber mit diesem Bekenntnisse schließen wir zugleich die Schilderung der elektrischen Organe. In den Sinnesorganen waren fast alle Vorgänge aus physikalischen Gesetzen zu begreifen. Auch in den elektrischen Organen behauptet die gewöhnliche Physik noch eine

Digitized by Google

bedeutende Stelle; aber neben ihr nimmt die organische Thätigkeit im engeren Sinne noch eine bedeutende Stelle ein. Wir wenden uns jetzt zu den Bewegungsorganen. Hier tritt das physikalische mehr in den Hintergrund, und das eigentlich Treibende gehört dem Organismus als solchem an. Aber dieses verknüpft wesentlich die elektrischen und die äußeren Bewegungsorgane, daß durch beide das Thier auf das physikalische Verhalten seiner Umgebung einwirkt, daß beide die Werkzeuge sind, durch welche es Feinde von sich abweist und Beute sich verschafft.

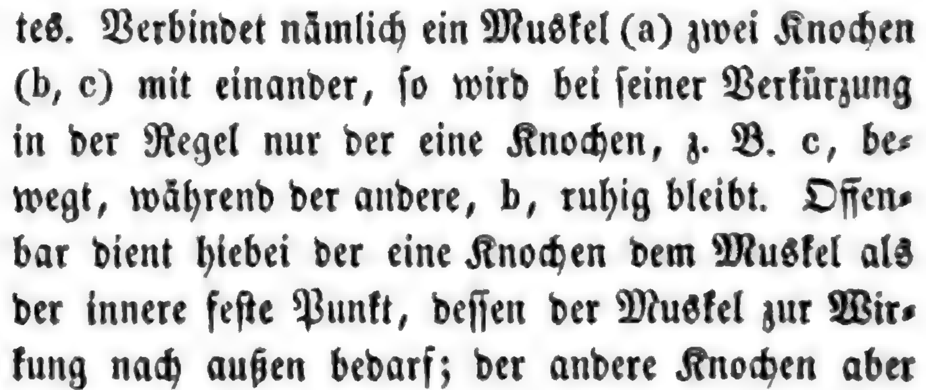
G. Die äußeren Bewegungsorgane.

Die Thätigkeit dieser Organe hat zur nächsten Folge die Veränderung der Form und Lage der umgebenden Körper. Durch seine Tastorgane empfindet das Thier äußeren Stoß; durch seine Bewegungsorgane theilt es seiner Umgebung selbst einen Stoß mit. Aber bei dieser Thätigkeit sind nicht die contraktilen Muskelfasern und die centrifugalen Nervenfasern allein betheiligt; sondern zu den einzelnen Bewegungsorganen gehören noch weitere, anders beschaffene Gewebe. Das Thier bewegt nämlich die äußeren Gegenstände nicht unmittelbar durch Verkürzung seiner Muskel; vielmehr setzt diese Verkürzung zunächst andere Theile in Bewegung, und erst von den letzteren wird die Bewegung den äußeren Körpern mitgetheilt. So bewirken die Muskel der Hand nicht unmittelbar das Ergreifen äußerer Gegenstände; sondern jene Muskel tragen ihre Bewegung zunächst auf die Knochen über, und diesen folgen alle anhängenden Weichtheile, um die äußere Bewegung auszuführen. Auf diesem Verhältnisse beruht der Unterschied der aktiven und passiven Bewegungsorgane. Zu jenen gehören die Muskel, zu diesen die Knochen und Weichtheile, welche von den Muskeln bewegt werden. Offenbar ist aber, daß der thierische Organismus nur dadurch auf die Form seiner Umgebung einwirkt, daß er seine eigene Form verändert, gerade wie er die äußeren physikalischen Eindrücke nur dadurch zu Sinnesempfindungen erhebt, daß er

Digitized by Google

sie durch eigene Apparate nach physikalischen Gesetzen in sein Inneres aufnimmt. Das Thier bedarf zu seinen Wechselwirkungen mit der Außenwelt, zu seiner sensitiven und lokomotorischen Thätigkeit vermittelnder Apparate.

Die passiven Bewegungsorgane können in verschiedener Weise, hindernd oder fördernd, auf die Bewegungen der Thiere einwirken. Hier kommt es insbesondere darauf an, ob die Thiere mit festen Skelettheilen ausgerüstet sind oder nicht. Feste Theile fixiren die Form des ganzen Körpers oder einzelner Organe. Daher ist eine unbegränzte Beweglichkeit nur bei ganz weichem Körper, bei völligem Skeletmangel denkbar. So verhalten sich manche Protozoen, die meisten Quallen, einige Polypen, Würmer und Weichthiere. Aber die große Mehrzahl der Thiere und vorzüglich alle Wirbelthiere besitzen Skelettheile in allen oder doch in einzelnen Bewegungsorganen. Hier wird natürlich die Beweglichkeit auf einzelne Richtungen beschränkt; aber während sie an Freiheit verliert, gewinnt sie viel mehr an Festigkeit und Bestimmtheit. Glieder, welche mit festen Theilen ausgerüstet sind, bewegen sich zwar nur an einzelnen Punkten, aber an diesen mit um so größerer Sicherheit und Energie. So erklärt es sich, warum Skeletthiere in Bezug auf ihre Bewegungsorgane im Allgemeinen höher stehen, als skeletlose. Bestimmte Gliederung steht überall in der Natur höher, als unterschiedloses Einerlei, wenn jene auch eine größere Einschränkung und Gebundenheit der Lebensvorgänge mit sich führt. Das Verhältniß der Muskel zu den Skelettheilen ist nun ein doppeltes. Verbindet nämlich ein Muskel (a) zwei Knochen (b, c) mit einander, so wird bei seiner Verkürzung in der Regel nur der eine Knochen, z. B. c, bewegt, während der andere, b, ruhig bleibt. Offenbar dient hiebei der eine Knochen dem Muskel als der innere feste Punkt, dessen der Muskel zur Wirkung nach außen bedarf; der andere Knochen aber trägt die Bewegung, welche der Muskel hervorbringt, auf die



Digitized by Google

äußere Umgebung mit Sicherheit über. Je nachdem nun im Skelete die Ruhe oder die Beweglichkeit überwiegt, nehmen die Bewegungsorgane der Thiere eine verschiedene Stufe der Vollkommenheit ein.

Bei den Polypen fehlt dem Skelete alle Beweglichkeit. Der Polypenstock entsteht nicht, wie man vielfach angenommen hat, durch Absonderung der Hautoberfläche; er stellt nicht ein unorganisches Gehäuse für den Polypen dar. Sondern in der Haut der Thiere selbst lagern sich Kalksalze oder hornartige Substanzen ab, und diese Ablagerungen schmiegen sich der inneren und äußeren Oberfläche der Polypen an. Der Zweck des Skeletes ist aber hier nur, den Weichtheilen eine feste, unverrückbare Unterlage zu geben. In den beweglichen Armen finden sich keine festen Ablagerungen; sondern diese Arme ziehen sich in der Ruhe oder bei herannahender Gefahr in das feste Polypengehäuse zurück. Diese Beschaffenheit des Skeletes steht im innigsten Zusammenhange mit der Unbeweglichkeit der meisten Polypen im Ganzen; sobald diese einen Stock bilden, sitzen sie auch auf ihrem Skelete während ihres ganzen Lebens fest. In keiner andern Thierklasse ist dieser Charakter des Skeletes ebenso ausgeprägt. Am meisten nähern sich noch unter den Ringelwürmern die Röhrenwürmer; diese kleben aus blosem Schleim oder aus Schleim und kleinen Gesteintrümmern unbewegliche Röhren zusammen, in welchen sie sich, wenigstens während eines Theiles ihres Lebens, aufhalten.

Bei den Stachelhäutern aber, und ebenso bei den Weichthieren wird wenigstens ein Theil des Skeletes durch Muskel in Bewegung gesetzt. So bewegen in der ersteren Klasse die Seeigel und Seesterne sowohl einzelne Theile ihres Skeletes gegen einander, als ihren ganzen Körper von der Stelle; die Seelilien aber bewegen wenigstens ihre Krone, wenn gleich ihr Stiel fest auf dem Meeresboden aufsitzt. Unter den Weichthieren bewahren die zweischaligen Muscheln unter allen Umständen die Bewegung der beiden Klappen gegeneinander; das ganze

Digitized by Google

Thier bewegt sich nur bei einem Theile frei umher; andere sind durch fußartige Fortsätze, wie die Terebrateln, oder durch die eine Schale, wie die Austern, angeheftet. Die Schnecken hingegen tragen immer ihre einzige, spiralförmig gewundene Schale frei herum; bei einigen kommt noch ein flacher Deckel hinzu, welcher am Fuße befestigt ist und zur Schließung der Muschelmündung dient. Aehnlich verhalten sich die Kopffüßer, insbesondere Nautilus, Argonauta und die fossilen Ammoniten; ihre Schalen sind nie an festen Stellen angeheftet. Aber bei den höchsten Kopffüßern, bei den Sepien, kommen im Innern des Körpers bewegliche Knorpel vor, welche theils dem Kopfe, theils dem Rücken, theils den Armen angehören; die Verhältnisse des Wirbelthierskeletes sind hier in den ersten Spuren angedeutet. Wenn in allen diesen Fällen das Thier seine Schale auch frei mit sich umherträgt, wenn es auch einzelne Theile derselben gegen einander bewegt, so fehlt doch dem Skelet noch ganz die innere Gliederung, welche erst eine mannigfaltigere Bewegung seiner einzelnen Theile möglich macht. Diese Gliederung wird in den Krebsen, Spinnen und Insekten erreicht. Hier dient das Skelet nicht mehr blos als Gehäuse der weichen Theile, sondern es zerfällt in einzelne Abschnitte, in Glieder, welche von den Muskeln nach bestimmten Gesetzen und in festen Richtungen einander genähert und von einander entfernt werden.

Die drei zuletzt genannten Thierklassen stehen hinter keiner anderen in der Gliederung des Skeletes zurück. Aber in anderer Beziehung wird doch ihr Skelet durch die Anordnung des Wirbelthierskeletes übertroffen. Bedenkt man, daß der auszeichnende Charakter aller Skelete ihr Reichthum an unorganischen Substanzen ist, daß diese sich in den festen Theilen des Thierkörpers vornehmlich ablagern, so liegt die Vermuthung sehr nahe, daß diese mineralischen, vom Planeten hergenommenen Substanzen nicht überall mit gleicher Vollkommenheit den Hauptzwecken des thierischen Lebens, der Sinnesthätigkeit und Bewegung unterworfen werden. Bei den Polypen wird das Skelet zur

Digitized by Google

Last, welche das Thier am Boden festhält. Auch bei den Weichthieren ist die Muskelkraft noch nicht ganz über diese Last Herr geworden. Erst bei den Krebsen, Spinnen und Insekten tritt die Belastung in den Hintergrund, und das Skelet erscheint überwiegend als ein Mittel der freiesten thierischen Bewegung. Um so mehr fällt es auf, daß hier die Sinnesthätigkeit bedeutend durch die Skeletbildung beeinträchtigt wird. Ueberall, wo bei den Wirbellosen sich das Skelet entschiedener ausbildet, erscheint es als Hautskelet und verdrängt von den meisten Punkten der äußeren Bedeckungen den Tast- und Wärmesinn. Diese Beeinträchtigung fehlt auch bei den gegliederten Skeleten der höchsten Wirbellosen keineswegs; aber sie wird bei den Wirbelthieren dadurch aufgehoben, daß die Skelettheile sich ins Innere zurückziehen. Das Wirbelthierskelet kommt überdieß in seiner Gliederung dem Insektenskelete völlig gleich. Bei den Insekten liegen die Muskel in den Röhren des Hautskeletes, welche durch sie bewegt werden; bei den Wirbelthieren stellen die Knochen feste Cylinder dar, an deren Oberfläche die bewegenden Muskel sich ansetzen. Neben diesem inneren Skelete ist das Hautskelet allerdings bei den meisten Fischen und Reptilien, sowie unter den Säugthieren beim Schuppen- und Gürtelthiere noch in schwächerer Auzbildung vorhanden. Jedenfalls aber erfüllt die Haut bei allen Wirbelthieren ihre Bestimmung, die Eindrücke der äußeren Formen und Temperaturen aufzunehmen.

So werden endlich die unorganischen Substanzen des Thierkörpers ganz den organischen Zwecken unterworfen. Sie hindern nicht mehr die Sinnesthätigkeit, und sie dienen direkt der Bewegung. Das Wirbelthierskelet erhält hiedurch eine höhere Stellung, als die Skelete aller Wirbellosen. Indem das Skelet von der Oberfläche sich ins Innere zurückzieht, erscheinen seine unorganischen Bestandtheile nicht mehr als etwas dem Organismus Aeußerliches; sondern sie sind in sein Inneres aufgenommen und so viel als möglich zu seinem Eigenthume gemacht. Hier hat der Organismus einen Sieg über das Planetarische

Digitized by Google

errungen; Stoffe, die sonst nur den allgemeinen Bewegungsgesetzen unterworfen waren, dienen hier den Gesetzen der organischen Bewegung.

Mit dieser Unterwerfung unter organische Zwecke entziehen sich aber die Skelete doch nicht ganz den Regeln der allgemeinen Physik. Die Gesetze der Schwere und des Gleichgewichtes finden hier noch mannigfache Geltung. Es ist, um dieses nachzuweisen, vor Allem nothwendig, die Art anzugeben, in welcher die beweglichen Theile des Skelets sich unter einander verbinden. In den meisten Fällen ist nämlich diese Verbindung eine so gesetzmäßige, daß aus ihr schon auf die möglichen Bewegungen geschlossen werden kann. Man bezeichnet solche gesetzmäßige Verbindungen im Allgemeinen als Gelenke. Unter die Gelenke gehört bei den Weichthieren das Schloß der zweischaligen Muscheln; in der Regel greift hier die eine Schale mit länglichen Vorsprüngen oder mit Zähnen in entsprechende Vertiefungen der anderen Schale ein. Aber man nennt Gelenke doch vorzüglich die Verbindung zwischen den Skeletgliedern der Krebse, Spinnen, Insekten und Wirbelthiere.

Die Bewegung ist bei den Gelenken nur in Einer oder in mehreren Richtungen möglich. Der erste Fall tritt beim Schlosse der Muscheln und bei vielen Gelenken der höchsten Wirbellosen und der Wirbelthiere ein; man bezeichnet solche Gelenke als scharnierartige oder Kniegelenke. Sie finden sich an denjenigen Stellen, wo es weniger auf Freiheit, als auf besondere Sicherheit und Kraft der Bewegung ankommt. Auf solche Weise verbindet sich die Kinnlade mit dem Schädel bei allen fleischfressenden Säugethieren, welche schon durch ihren Zahnbau nicht auf ein Zermalmen, sondern auf ein bloses, sehr kräftiges Zerschneiden und Zerreißen der Nahrung angewiesen sind (II. 321). So verliert die Hand der Säugethiere jede freiere Bewegung, sobald sie bei den Fledermäusen als Flugorgan nur die energischen Bewegungen nach oben und unten auszuführen hat So befestigt sich der Oberarm an die Speiche des Vorderarmes immer

Digitized by Google

durch das feste Ellenbogengelenk. So lassen endlich die Finger und Zehen der Säugthiere eine Bewegung immer nur in Einer Richtung zu. Meist passen bei solchen scharnierartigen Verbindungen die Gelenkenden sehr fest in einander; die Vertiefung des einen (a) nimmt genau die Wölbung des anderen (b) in sich auf; die Weichtheile tragen hier zur Verbindung der Gelenkenden in geringerem Maaße bei.

Diesen Scharniergelenken stehen die freien Gelenke geradezu gegenüber; sie gewähren meist weniger Sicherheit, als Freiheit der Bewegung. So bedürfen die Wiederkäuer und Nagethiere nicht blos der einfachen Zerschneidung, sondern zugleich der Zermalmung der Nahrungsmittel; daher vermag ihr Unterkiefer sich nicht blos zu öffnen und zu schließen; sondern sein Gelenk läßt überdieß horizontale Bewegungen zu, und zwar bei den Wiederkäuern mehr von einer Seite zur andern, bei den Nagern mehr von vorn nach hinten. So erhält die ausgebildete Hand der Affen nicht blos die Möglichkeit einer Hebung und Senkung, sondern zugleich die Drehbarkeit um ihre eigene Längenaxe. So behält in den meisten Fällen der Oberarm die freieste Bewegung im Schultergelenke. So läßt endlich die Verbindung des Schädels mit dem ersten Halswirbel bei allen Wirbelthieren die größte Mannigfaltigkeit der Bewegungen zu. Meist übernehmen die Weichtheile, die Bänder, vorzüglich die Verbindung der freien Gelenke; die Gelenkenden selbst sind flacher gebildet. Aber in seltenen Fällen passen doch auch diese sehr fest in einander. Die Gelenkhöhle, welche am menschlichen Becken den Kopf des Oberschenkelknochens in sich aufnimmt, ist so vertieft und schließt sich diesem so luftdicht an, daß selbst nach Zerschneidung der Weichtheile der Kopf die Gelenkhöhle nicht verläßt; der Boden dieser Höhle muß angebohrt werden, um der Luft von innen Zutritt zu gestatten und so die Wirkung des äußeren Luftdruckes auf den Gelenkskopf aufzuheben.

Wir begnügen uns mit diesen Andeutungen von der mechanischen Einrichtung der Skelete. Wie aus dem Zahnbau der Thiere auf ihre Nahrungsweise geschlossen werden kann, so ist es eine Hauptaufgabe der vergleichenden Anatomie, die Beziehungen zwischen dem Bau der Gelenke und den Bewegungen der betreffenden Glieder nachzuweisen. In den festen Formen des Skeletes ist deutlich Vorsorge getroffen für die Forderungen, welche von den aktiven Muskeln an die passiven Bewegungsorgane gemacht werden. Hier ist wieder ein unwiderleglicher Beweis von der ursprünglichen, göttlichen Harmonie der Schöpfung.

Aber die Zweckmäßigkeit in der Einrichtung der Bewegungsorgane beschränkt sich nicht auf den Bau der Gelenke; auch der Ansatz der Muskel an dem Skelete ist so beschaffen, daß die einzelnen Glieder durch die Contraktionen der Muskel nach physikalischen Gesetzen bewegt werden. Es gelten hier vorzüglich die Gesetze des Hebels (I. 44). Als Hebel sind die einzelnen Glieder des Skeletes zu betrachten. Der Drehpunkt jedes solchen Hebels befindet sich in dem Gelenke; die bewegenden Kräfte werden durch Muskel oder äußere Einflüsse repräsentirt. Diese organischen Hebel sind nun meist einarmig, seltener zweiarmig; das Gelenk liegt meistens an dem einen Ende des Gliedes. Zu den einarmigen Hebeln gehört z. B. der Oberarm der Wirbelthiere; sein Drehpunkt liegt im Schultergelenk (a). Die Kräfte, welche den Oberarm bewegen, wirken in verschiedenen Richtungen ein. Am unteren Ende des Oberarmes zieht das Gewicht des Vorderarmes und der Hand den Knochen abwärts; ein Muskel, der vom Schulterblatt (c) kommt und sich in der Mitte des Knochens (b) befestigt, bewirkt durch seine Contraktion die Hebung des Oberarmes. Hier wirkt also die Schwere der Muskelkraft entgegen, und abwechselnd gewinnt die eine oder die andere das Uebergewicht. In anderen Fällen sind es verschiedene Muskel, die einander entgegenwirken. So ist die untere Kinnlade der Wirbelthiere mit ihrem hinteren Ende am

Digitized by Google

Schädel eingelenkt, und sie wird durch ihre Muskel abwechselnd dem Oberkiefer genähert oder von diesem entfernt. Dieser Antagonismus mehrerer Muskel bestimmt aber insbesondere die Bewegungen derjenigen Glieder, welche als zweiarmige Hebel zu betrachten sind. Wenn der Fuß eines Säugethieres oder des Menschen frei schwebt, so liegt sein Drehpunkt im Fußgelenke, und je nach der Zusammenziehung der verschiedenen Muskel des Unterschenkels können bald die Zehen bald die Ferse gehoben werden; die Bewegung gleicht ganz dem Schwanken einer zweiarmigen Wage.

Wenn die Glieder des Skeletes sowohl bei den Wirbellosen als bei den Wirbelthieren den gewöhnlichen Hebeln analog sind, so folgt daraus noch nicht, daß die Einrichtung dieser Hebel nach physikalischen Gesetzen die möglichst günstige ist. Soll eine bewegende Kraft voll und ungetheilt auf einen Hebel wirken, so muß sie diesen in senkrechter Richtung treffen. Diese Bedingung konnte nur an der Minderzahl der organischen Hebel erfüllt werden. So ziehen sich allerdings die Muskelfasern, welche den Unterkiefer der Wirbelthiere heben, senkrecht von der Seitenfläche des Schädels zur unteren Kinnlade herab. Aber in der Mehrzahl der Fälle verträgt sich die Gestalt des Thierkörpers nur mit schiefen Ansätzen der Muskel an ihren Skelettheilen. Vorzüglich bei den langgestreckten Gliedern der äußeren Extremitäten entfernt sich die Richtung der Muskelfasern, welche die einzelnen Glieder unter sich verbinden, möglichst weit von der senkrechten; und hier wäre auch ohne völlige Mißstaltung der langen, höchst beweglichen Arme und Beine durchaus keine andere Anordnung denkbar. Offenbar treten hier die physikalischen Bedingungen vor den organischen zurück; eher geht ein Theil der verwendeten Kraft verloren, als daß der allgemeine Plan der thierischen Gestalten gestört wird. Dieses Gesetz bewährt sich auch noch in anderer Weise.

Wir haben früher gezeigt, daß zur Ausführung einer bestimmten Bewegung eine um so geringere Kraft nothwendig

Digitized by Google

wird, je länger der Hebelarm ist, auf welchen die Kraft wirkt (I. 45). Auch dieses günstige Verhältniß wird selten in den organischen Hebeln beobachtet. Gehen wir auf das schon gebrauchte Beispiel vom Oberarmknochen der Wirbelthiere zurück, so hat offenbar die Last, welche am Ende des Knochens angebracht ist, einen längeren Hebelarm für sich, als der Muskel, der sich am Knochen in der Mitte seiner Länge befestigt. Aber welche Verkrüppelung würde entstehen, wenn der Muskel, welcher den Oberarm hebt, am unteren Ende, der Vorderarm aber, welcher als Last wirkt, in der Mitte jenes Knochens sich ansetzte? In den meisten Fällen, wo durch Muskelbewegung äußere Widerstände, besonders die Schwere innerer oder äußerer Theile überwunden werden sollen, haben die Widerstände den längeren, die Muskel den kürzeren Hebelarm für sich. So verhält sich z. B. auch die untere Kinnlade der Wirbelthiere; an dem einarmigen Hebel, welchen diese darstellt, befindet sich in a ein hauptsächlicher Widerstand, d. h. die Nahrung, die ergriffen, die Beute, die zerrissen werden soll; der Punkt b hingegen, an welchem sich die hebenden Muskel anheften, liegt dem Drehpunkte c viel näher. Auch hier scheint also die organische Einrichtung gegen physikalische Gesetze zu verstoßen. Aber im Einzelnen stimmt der Bau der Kinnlade wieder mit den Bedingungen der Physik überein. Je kräftiger z. B. die Kauwerkzeuge der reißenden Säugethiere werden, desto geringer wird die Länge der Kinnladen; a und b rücken zusammen, und in demselben Maaße wird das Verhältniß der Muskelkraft zu den Widerständen günstiger. Bei dem Katzengeschlechte erreicht diese Verkürzung ihre höchste Stufe. So sehr sich also die mechanischen Verhältnisse der Bewegungsorgane den speciellen Zwecken des thierischen Organismus unterordnen, so findet sich doch im Einzelnen immer diejenige Einrichtung, welche unter den gegebenen Umständen physikalisch das Höchste zu leisten vermag.

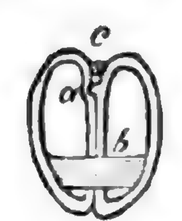
Bei Weitem in den meisten Fällen ist die Bewegung des

Digitized by Google

Skeletes den contraktilen Fasern des Muskelgewebes übertragen. Verschiedene Muskel befestigen sich in verschiedenen Richtungen an demselben Gliede des Skeletes; sie treten zu einander in stärkeren oder schwächeren Gegensatz; abwechselnd erhält der eine oder der andere das Uebergewicht, und das Glied folgt diesen Zusammenziehungen in abwechselnder Richtung. Aber an einzelnen Orten und in einzelnen Thieren scheint die Thätigkeit der Muskel zu bestimmten Zwecken nicht zu genügen. Die Muskel, wie die Nerven, von welchen sie ihre Reize erhalten, sind keiner ununterbrochenen Anstrengung fähig und bedürfen des Wechsels der Ruhe und Bewegung. Wo daher eine dauernde Zusammenziehung verlangt wird, da treten an die Stelle der contraktilen Muskelfasern andere Elemente, welche die lebendige Zusammenziehung durch eine blos physikalische Elasticität ersetzen. Die Fasern des elastischen Gewebes (II. 288) übernehmen hier eine wichtige Rolle in dem Mechanismus der Bewegungsorgane. So entbehrt die untere Wandung der Bauchhöhle bei allen Säugethieren die knöcherne Einfassung, welche die Brusthöhle von den Rippen erhält. Um aber die Baucheingeweide zu tragen, scheinen die Muskel der Bauchwandungen nicht hinzureichen; der Widerstand dieser Wandungen wird daher durch Einlagerung von elastischen Fasern erhöht, und diese treten bei großen, pflanzenfressenden Säugethieren, wie beim Pferde, in besonderer Menge auf. In gleicher Weise genügen die Muskelfasern nicht, um die zahlreichen Knochen der Wirbelsäule bei den Wirbelthieren in der rechten Lage zu erhalten; daher werden die Wirbel außerdem durch elastische Bänder vereinigt. Noch kräftiger ist das elastische Nackenband, welches den Schädel der größeren Säugethiere, besonders der hörnertragenden Wiederkäuer mit den oberen Dornfortsätzen der Hals- und Brustwirbel verbindet, und auf solche Weise den Kopf in seiner Lage erhält. In diesen drei Fällen dienen die elastischen Fasern nur zur Unterstützung der Muskelfasern. An anderen Orten aber treten sie zu diesen in direkten Gegensatz.

Unter allen reißenden Säugethieren zeichnet sich das Katzen-

geschlecht nicht nur durch die Stärke seiner Kinnladen, sondern auch durch die Schärfe seiner sichelförmigen Krallen aus. Diese Krallen berühren beim Schreiten den Boden nicht, und werden daher nicht, wie bei den übrigen Fleischfressern, durch die Fortbewegung des Körpers abgenützt; sondern in der Regel sind ihre Spitzen nach oben gerichtet, und nur wenn das Thier eine Beute ergreift, werden sie herabgezogen. Jene Aufrichtung wird durch elastische Fasern, das Herabziehen durch Muskelfasern bewirkt. Aehnlich sind die Verhältnisse bei den zweischaligen Muscheln. Die Schließung dieser Muscheln geschieht durch einen oder zwei Muskel (b), welche die beiden Schalen verbinden; aber in der Ruhe sind die Muscheln in der Regel geöffnet, und zwar durch die Vermittlung des festen, aus elastischen Fasern gebildeten Schloßbandes (c). Dieses Band liegt gewöhnlich außerhalb der Höhle der Muschel, jenseits des Schlosses (a). So stellt jede Schale einen Hebel dar, dessen Drehpunkt im Schlosse liegt, und dessen einer, kürzerer Arm vom Schloßbande, dessen anderer von Muskeln bewegt wird. Lassen die letzteren nach, so öffnet sich die Schale durch die Verkürzung des elastischen Bandes, und nur die lebendige Contraktion der Muskel überwindet die Wirkung des Schloßbandes. In anderen Fällen liegt das Schloßband nicht außerhalb, sondern innerhalb des Schlosses, und dann ist es nicht die Verkürzung des ausgedehnten Bandes, sondern die Ausdehnung des comprimirten Bandes, was die Schale nach dem Aufhören der Muskelcontraktion wieder öffnet.



Diese Verwendung der elastischen Fasern bestätigt vollkommen, was wir früher wiederholt über die Bedeutung dieses Gewebes gesagt haben. Wo die geringe Elasticität des Bindegewebes und die wechselnde Kraft der Muskel nicht zu gewissen Leistungen der Bewegungsorgane hinreicht, da werden elastische Fasern angebracht; und in vielen Fällen treten die letzteren als Antagonisten der Muskelfasern auf. Die Muskel setzen die Glie-

Digitized by Google

der in Bewegung; die elastischen Bänder führen sie wieder in die ruhende Lage zurück.

Der Unterschied zwischen innerem und äußerem Skelet, die Stufen der Gliederung der Skelete, die Bildung der Gelenke, die Verbindung der Skeletglieder mit bewegenden Fasern kommen bei jeder Bewegungsweise der Thiere aufs Neue in Betracht. Aber je nachdem alle diese verschiedenen Momente sich gegen einander verhalten und abwägen, wird das einzelne Thier bald zu der einen, bald zu der anderen Lokomotionsweise geeignet. Wir müssen bei den Thieren vier solche Weisen, das Schwimmen, das Kriechen, das Schreiten und das Fliegen unterscheiden.

Alle Thiere, welche schwimmen, bewegen sich im Medium des Wassers, und zwar theils der süßen Gewässer, theils der Meere. Dieses Medium hat zwei Eigenschaften, welche zu der Form der Bewegungsorgane der schwimmenden Thiere in der genauesten Beziehung stehen: das specifische Gewicht des Wassers (I. 33) kommt im Allgemeinen dem specifischen Gewicht jener Thiere gleich, und das Wasser setzt den Bewegungen der Thiere größeren Widerstand entgegen, als die Luft. Das erste dieser Momente fördert, das zweite hindert die Lokomotion der schwimmenden Thiere.

Die Thiere, welche sich im Wasser bewegen, bedürfen wegen ihres Gewichtes keiner besonderen Organe, um sich in ihrem Medium schwebend zu erhalten, wie dieses bei den fliegenden Thieren nöthig wird. Das Medium wird hier zugleich zur Unterlage; der Körper, welcher das Gewicht der Thiere trägt, befindet sich nicht blos zu den Füßen der Thiere, sondern umgibt sie von allen Seiten. Durch dieses Verhalten werden jene Organe entbehrlich, welche andere Thiere durch die Luft oder auf dem Erdboden hin bewegen; es sind dieses die entwickelten äußeren Extremitäten. Wie nämlich an der Oberfläche des Thierkörpers zum Zwecke des Tastens sich Hervorragungen bilden, so wird noch viel mehr die Ortsbewegung der Thiere durch

Digitized by Google

äußere, hervorragende Glieder, durch Extremitäten, vermittelt. Meist übernehmen dann dieselben Glieder zugleich das Tasten und die Ortsbewegung. Die Entwicklung dieser Glieder hält gleichen Schritt mit der Kraft, welche zur Fortbewegung des Körpers angewendet werden muß. Es folgt hieraus von selbst, daß bei schwimmenden Thieren die äußeren Extremitäten wenig entwickelt sein können. Wir sehen hier ab von den Protozoen, welchen überhaupt alle wahren Extremitäten fehlen; aber bei den Quallen, bei den Räderthieren und bei allen schwimmenden Weichthieren fällt die geringe Ausbildung der Extremitäten im Vergleich mit anderen wirbellosen Thieren auf. Unter den Wirbelthieren findet ganz dasselbe Verhältniß bei der niedersten Klasse, bei den Fischen, unter den Säugethieren aber bei den Seehunden, Walfischen und Delphinen statt; die Extremitäten treten zurück, und der Rumpf bildet die weit überwiegende Masse des Körpers.

Diese Kürze der Extremitäten erleichtert zugleich die Fortbewegung im Wasser um ein Bedeutendes. Je stärkeren Widerstand ein Medium der Bewegung entgegensetzt, desto weniger Fläche darf der bewegte Körper jenem Widerstande darbieten. Ein ausgebreiteter Schirm macht den Fall in der atmosphärischen Luft langsamer; aber in dem widerstandsfähigeren Wasser wird der Fall noch viel eher verlangsamt oder gehemmt. Daher ist der Körper aller gut schwimmenden Thiere länglich, vorn und hinten etwas verschmälert, an den Seiten zugerundet, mit gar keinen oder sehr kurzen Extremitäten versehen. Die beiden Momente, welche beim Wasser in Betracht kommen, wirken also auf die Entwicklung der Extremitäten in gleicher Weise ein.

Bei allen Thieren, welche nicht blos durch schwingende Wimper, sondern durch größere, willkührlich bewegliche Hervorragungen ihrer Körperoberfläche schwimmen, zeigen diese Hervorragungen eine übereinstimmende Form, wenn auch der Ort, an welchem sie angebracht sind, mannigfach verschieden ist. Ueberall findet sich die Form der Flosse wieder, d. h. überall stellen

Digitized by Google

diese Hervorragungen kurze und breite Ruder dar, welche je nach ihrer Lage dem Wasser eine verschieden große Fläche darbieten. Bewegt z. B. der Fisch eine Flosse vorwärts, so geschieht dieses im gefalteten Zustande, d. h. in derjenigen Lage, in welcher die Flosse vom Wasser am wenigsten Widerstand erfährt. Bei der Rückwärtsbewegung aber wird die Flosse möglichst ausgebreitet, und eben damit der Widerstand des Wassers gegen dieselbe möglichst erhöht. Bei diesen Bewegungen verhalten sich die Flossen ähnlich wie Ruder. Wird ein breites Ruder mit seiner ganzen Fläche gegen das Wasser bewegt, so leistet dieses einen Widerstand, welcher der Ruderfläche entspricht; und wenn das Ruder nicht am festen Lande, sondern an einem beweglichen Körper, z. B. an einem Schiffe angebracht ist, so bewirkt der Widerstand des Wassers, daß das Schiff sich in derjenigen Richtung weiter bewegt, welche der Richtung des Ruderschlages entgegengesetzt ist. Jedermann kennt diese Thatsache; Jedermann weiß, daß eine Rückwärtsbewegung der Ruder die Vorwärtsbewegung des Schiffes zur Folge hat. Auf dieselbe Weise erklärt sich das Schwimmen der Fische. Die gefalteten Flossen bieten, indem sie vorwärts bewegt werden, dem Wasser so wenig Widerstand dar, daß hier eine entsprechende Rückwärtsbewegung des Fisches kaum in Betracht kommt; aber um so mehr schieben die ausgebreiteten Flossen, indem sie rasch zurückweichen, den Fischkörper nach vorne. Die Fläche der Flossen steht zur Größe der Bewegung in geradem Verhältnisse.

Bei den schwimmenden Thieren wird also durch den Widerstand des Mediums nicht das freie Schweben, sondern nur die Fortbewegung vermittelt; wir werden dieses bei den fliegenden Thieren anders finden. Uebrigens ist der Widerstand des Wassers nicht so bedeutend, daß er nicht eine sehr rasche Fortbewegung zuließe. Diese Gesetze des Schwimmens gelten nun sowohl für die Wirbellosen, als für die Wirbelthiere. Nicht blos bei den Fischen wird die Bewegung durch Flossen vermittelt, sondern dieselbe Form der Bewegungsorgane findet sich

Digitized by Google

auch unter den Reptilien bei den fossilen Resten der schwimmenden Ichthyosauren und Plesiosauren, unter den Vögeln bei den Pinguinen, unter den Säugethieren bei den Seehunden, Delphinen und Walfischen. Auf dieselbe Weise verhalten sich unter den Wirbellosen sowohl die Gesammtheit der Krebse, als mehrere schwimmende, mit Flossen ausgerüstete Weichthiere und in der Klasse der Insekten vorzüglich die Wasserkäfer, deren Beine abgeplattet und durch steife Haare noch mehr verbreitert sind. Ueberall ist es die flächenartige Ausbreitung, welche die Hervorragungen des Körpers zu Rudern gestaltet. Hier muß aber noch insbesondere darauf hingewiesen werden, wie die Flossen nicht immer die Bedeutung von wahren Extremitäten behaupten. Die Schwanzflosse, welche bei den Fischen und Krebsen vorherrschend die Ortsbewegung vermittelt, stellt keine Extremität, sondern nur das Ende des Rumpfes dar, und gegenüber von ihr treten die übrigen Flossen so sehr in den Hintergrund, daß diese nur das Schwimmen zu unterstützen, zu leiten vermögen. Auch bei den Weichthieren sind die Flossen nicht als Extremitäten anzusehen.

Wenn in allen diesen Fällen die Bedeutung der Extremitäten für die Lokomotion eine geringe ist, wenn der Rumpf selbst die Hauptrolle bei der Ortsbewegung übernimmt, so wird doch hier das Schwimmen durchaus von Hervorragungen der *äußeren* Körperoberfläche, von *äußeren Muskelgruppen* vermittelt. Aber in einzelnen schwimmenden Thieren kommt die Kraft für die Fortbewegung nicht von denjenigen Muskeln, welchen sonst die Wechselwirkung mit der Außenwelt übertragen ist, sondern von *inneren* muskulösen Organen, welche mehr den Funktionen des Stoffwechsels sich zuneigen. Auf solche Weise bewegen sich die Salpen, welche der niedrigsten Gruppe der Weichthiere, den Tunikaten, angehören. Indem diese das Wasser, das in ihrer Körperhöhle enthalten ist, rasch durch ihre hintere Körperöffnung austreiben, werden sie durch den Widerstand des umgebenden Mediums nach vorne gestoßen. Aehn-

Digitized by Google

liches wird bei der einzigen freischwimmenden Gruppe der zweischaligen Muscheln, bei den Kammmuscheln, beobachtet; sie bewegen sich von der Stelle, indem sie durch rasche Schließung ihrer Schalen das Wasser gewaltsam nach Einer Seite austreiben. Endlich benützen die höchsten Weichthiere, die Kopffüßer, dasselbe Mittel, um sich im Wasser weiter zu bewegen; sie schwimmen rückwärts, indem sie die Flüssigkeiten, welche in ihrer Körperhöhle enthalten sind, durch kräftige Muskelcontraktionen aus dem in der Nähe des Kopfes gelegenen Trichter hervorspritzen. In allen diesen Thieren greifen die inneren Organe hilfreich ein, weil es an äußeren Werkzeugen der Ortsbewegung mangelt. Aber auch bei höheren Thieren tritt ein analoges Verhältniß hervor; bei den Fischen findet das Schwimmen wenigstens eine Unterstützung in der Thätigkeit der Schwimmblase.

Bei der Mehrzahl der Fische liegt in der Bauchhöhle unter der Wirbelsäule eine längliche, mit Luft gefüllte Blase. Ihre Form zeigt manche Verschiedenheiten; sie ist paarig oder unpaar, öfters durch quere Scheidewände abgetheilt, mit mannigfaltigen Hervorragungen versehen. Bei einem Theile der Fische zeigt sie keinen Ausführungsgang; bei andern öffnet sie sich durch einen Kanal in die Speiseröhre oder den Magen. Ihre Wandungen sind bald dünn, bald mehr verdickt, und zwar theils durch Muskelfasern, theils durch reichliche Gefäßverzweigungen, theils durch Zellenbildung an der inneren Oberfläche des Organes. Die Luft endlich, welche in der Schwimmblase gefunden wird, enthält die Gase der atmosphärischen Luft, Stickgas, Sauerstoffgas und kohlensaures Gas, aber in sehr wechselnden Verhältnissen, das letzte jedenfalls in der geringsten Menge. Man war natürlich versucht, diese Schwimmblase als das Athmungsorgan der Fische anzusehen; aber bei näherer Untersuchung fand sich bald, daß hier von einer Athmung, von der Aufnahme des äußeren Sauerstoffes und von der Ausscheidung von Kohlensäure nicht die Rede sein kann. Wo allerdings die

Digitized by Google

Schwimmblase mit dem Nahrungskanale verbunden ist, da kann ihre Luft ein- und austreten; aber bei den rings geschlossenen Schwimmblasen bleibt nichts übrig, als die Luft, von welchen sie ausgedehnt werden, für ein Sekret der Blasenwandungen selbst zu halten. Was bei einem Theile der Schwimmblasen unzweifelhaft ist, das wird bei dem anderen Theile derselben wenigstens wahrscheinlich; und es ist wohl am besten, anzunehmen, daß überhaupt die Luft der Schwimmblase aus dem Blute ihrer Wandungen abgesondert werde. Die abgesonderte Luft kann theils wieder ins Blut zurückgenommen, theils bei den offenen Blasen durch ihren Ausführungsgang entleert werden.

Die Bedeutung der Schwimmblase ist nicht schwer zu verstehen. Ihre Luft gibt dem Fische bei einem bestimmten Körperumfang ein geringeres absolutes Gewicht; sie macht ihn also specifisch leichter. Bedenkt man nun, daß große Wassermassen, wie die Meere der Erde, an der Oberfläche specifisch leichter, nach der Tiefe zu specifisch schwerer sind, so läßt sich hieraus schließen, daß unter sonst gleichen Verhältnissen Fische mit großen Schwimmblasen mehr den oberen Schichten, Fische mit kleinen Schwimmblasen mehr den tieferen Schichten und Fische, denen die Schwimmblase fehlt, dem Grunde der größeren Gewässer angehören werden. Dieses Gesetz trifft in vielen Fällen zu; so bei den Aalen, welche kleine Schwimmblasen haben, und sich in der Tiefe des Wassers aufhalten; so insbesondere bei den seltsam gestalteten Froschfischen, welche sich sogar in den Schlamm des Meeresgrundes eingraben. Aber nicht in allen Fischen kann aus dem Verhalten der Schwimmblase auf ihren Aufenthalt geschlossen werden; denn der Mangel der Schwimmblase wird bisweilen durch andere Einrichtungen des Fischkörpers wieder ausgeglichen. So fehlt die Schwimmblase den meisten Knorpelfischen, z. B. den Haien und Rochen; aber das specifische Gewicht dieser Thiere ist schon an sich ein geringeres, weil in ihrem Skelete sich nur wenig Knochenerde ablagert. Diese Möglichkeit der Ausgleichung erklärt es, warum nicht

Digitized by Google

selten die Schwimmblase unter verwandten Fischen der einen Art zukommt, der anderen Art fehlt. Darum bleibt aber doch die Beziehung der Schwimmblase zum specifischen Gewichte bestehen; und sie ist nicht blos eine allgemeine, sondern auch eine specielle. Ein Fisch, dessen Schwimmblase zerstört wird, legt sich auf den Rücken, weil dieser nur durch die Luft der Schwimmblase leicht genug wird, um die oberste Stelle am Körper einzunehmen. Fische mit sehr großem Kopf zeichnen sich durch eine besonders große und weit nach vorn reichende Schwimmblase aus.

Die Schwimmblase wirkt nicht unter allen Umständen gleichförmig auf das specifische Gewicht der Fische ein. Es wechselt ihre Füllung und die Dichtigkeit ihres gasförmigen Inhaltes. Wenn Fische, deren Schwimmblase mit einem Ausführungsgange versehen ist, diese zum Theil entleeren, so nimmt natürlich ihr specifisches Gewicht zu; und ebenso werden Fische mit rings geschlossener Schwimmblase specifisch schwerer, wenn sie dieses Organ und die darin enthaltene Luft zusammendrücken. Beide Vorgänge werden durch eigene Muskelapparate vermittelt, und mit der Zunahme des specifischen Gewichtes wird der Fisch fähig, in tiefere Wasserschichten hinabzuschwimmen. Umgekehrt kann der Fisch seine Schwimmblase willkührlich ausdehnen und sich durch Verdünnung ihrer Luft specifisch leichter machen; er steigt dann in die höheren, leichteren Schichten des Wassers empor. Auf solche Weise wird die Schwimmblase zu einem Mittel, theils auf dauernde, theils auf wechselnde Weise das Gleichgewicht zwischen dem Fische und seinem Medium herzustellen. Bei anderen Thieren sind ähnliche Vorrichtungen nicht mit Sicherheit beobachtet; nur bei den Quallen könnten eigenthümliche, mit Luft gefüllte Schwimmblasen zu ähnlichen Zwecken dienen. Faßt man aber die Schwimmblase der Fische mehr im Allgemeinen auf, so schließt sie sich an andere Fälle an, wo durch innere, dem Stoffwechsel dienende Organe die äußeren Bewegungen des Körpers bewirkt, unterstützt oder ersetzt wer-

Digitized by Google

den. Wir erinnern hier vornehmlich an die Giftorgane vieler Thiere, welche an die Stelle kräftiger Bewegungsorgane den verderblichen, chemischen Einfluß eines thierischen Sekretes setzen.

In der Bewegung des Schwimmens finden die allgemeinen Gesetze der Bewegung und des Gleichgewichtes (I. 35) überall ihre volle Geltung. Aber es verhält sich auch bei den übrigen Bewegungsweisen der Thiere nicht anders. Unter diesen schließt sich das Kriechen der Schwimmbewegung am nächsten an. Während der Körper des schwimmenden Thieres von dem umgebenden Medium durchaus getragen wird, liegt der Rumpf der kriechenden Thiere, z. B. der Schlangen, nach seiner ganzen Länge auf dem Erdboden als seiner Unterlage auf. Auch hier sind zur Unterstützung keine Extremitäten nothwendig; sie könnten sogar wegen des Reibungswiderstandes, den sie vom Erdboden erfahren würden, für die Fortbewegung nur hinderlich sein. So zeigen insbesondere die Schlangen gar keine oder nur rudimentäre Extremitäten. Ihr Kriechen geschieht nur durch den Rumpf, und zwar vermittelst der Reibung des Rumpfes am festen Erdboden. Die Schuppen der Schlangen bilden an der Oberfläche ihres Rumpfes zahlreiche, aufrichtbare Hervorragungen. Wenn die Schlange sich vorwärts bewegt, so klammert sie sich mit einzelnen dieser Hervorragungen, welche in der Gegend des Kopfes oder Halses liegen, an den Unebenheiten des Bodens fest, und zieht dann die dahinterliegenden Theile des Körpers nach; sie nähert hiebei durch abwechselnde, seitliche Krümmungen ihr Schwanzende möglichst ihrem Kopfende. Ist dieses geschehen, so wird der Schwanz an den Boden angedrückt, und durch Streckung des Körpers der Kopf vorwärts bewegt. Die verschiedenen Theile des Rumpfes vermitteln also abwechselnd die Ortsbewegung, und zwar so, daß jeder das eine Mal die anderen bewegt, das andere Mal selbst von diesen bewegt wird.

Der Mangel der Extremitäten wird bei den Schlangen auf diese Weise durch eine wunderbare Beweglichkeit der einzelnen

Digitized by Google

Theile ihres Rumpfes ersetzt. Das Kriechen anderer Thiere stimmt mit der Bewegungsweise der Schlangen im Wesentlichen überein; doch verdient die Bewegung der Blutegel noch eine besondere Erwähnung. Hier wird das Kriechen nicht durch alle Stellen des weichen Körpers gleich gut vermittelt; sondern an jedem Ende des Körpers liegt eine kreisrunde, napfartige Vertiefung. Indem die Muskel dieser Organe den mittleren Theil der Vertiefung vom Boden zu entfernen suchen, wird der Rand, welcher den Boden berührt, durch den äußeren Luftdruck fest an den Boden angedrückt. Durch diese schröpfkopfartigen Vorrichtungen oder Saugnäpfe wird abwechselnd der Kopf und der Schwanz aufgesetzt, und dann mittelst einer Krümmung des Körpers bald das Schwanzende dem festsitzenden Kopfende genähert, bald, während der Schwanz festsitzt, der Körper gestreckt und mit dem Kopfe vorwärts geschoben. Das Princip der Bewegung ist hier dasselbe, wie bei den Schlangen, nur finden sich, entsprechend den veränderten Organisationsverhältnissen, auch andere Mittel zur Ausführung desselben Zweckes.

Vom Kriechen findet ein allmähliger Uebergang zum Schreiten statt. Während das kriechende Thier mit allen oder doch den meisten Theilen seines Rumpfes auf einer festen Unterlage ruht, wird bei den schreitenden Thieren die Unterstützung des Rumpfes wenigen Extremitäten übertragen; die geringste Zahl dieser Extremitäten ist zwei. Dadurch fällt der Reibungswiderstand, welchen die kriechenden Thiere erleiden, zum größten Theile weg; das Schreiten übertrifft gewöhnlich das Kriechen sehr bedeutend an Schnelligkeit. Die Lage der Extremitäten ergibt sich aus ihrer Bestimmung einfach nach physikalischen Gesetzen. Sie sollen das Gewicht des Körpers tragen, und darum sind sie immer so angebracht, daß der Schwerpunkt des Rumpfes zwischen sie fällt. In der Ruhe, wie in der Bewegung sind daher meist keine weiteren Vorrichtungen nöthig, um den Körper auf seinen Extremitäten in der richtigen Lage zu erhalten; schon durch den Bau des Skeletes und der Muskel ist bei den

Digitized by Google

meisten Thieren für diese Forderung Sorge getragen. Nur bei niederen Thieren, deren wenig entwickelten Extremitäten diese passende Anordnung fehlt, wird für die Befestigung am Boden durch besondere Apparate gesorgt. So tragen die Füßchen der Seeigel und Seesterne an ihren Spitzen, die Arme der Sepien an ihren Seiten ähnliche Saugnäpfe, wie sie oben bei den kriechenden Blutegeln beschrieben worden sind. Der äußere Luftdruck wird hier zu Hilfe genommen, weil die einfache mechanische Einrichtung in der Ruhe und Bewegung nicht ausreicht, und mit Hilfe dieser Saugapparate befestigen und bewegen sich die genannten Thiere auf dem Boden des Meeres.

Die Zahl der Extremitäten wechselt sehr bedeutend. Sie ist am größten bei einer Klasse der Wirbellosen, bei den Tausendfüßen; hier beträgt sie wenigstens vierundzwanzig. Offenbar ist bei diesen Thieren für die Unterstützung des Körpers am besten gesorgt; jeder Abschnitt des Rumpfes hat sein eigenes Fußpaar. Aber die Beweglichkeit leidet unter dieser großen Zahl der Extremitäten; wo so viele kurze Beine bewegt werden müssen, kann die Geschwindigkeit keinen hohen Grad erreichen, und die Ortsbewegung der Tausendfüße gleicht daher auch mehr noch dem Kriechen. Mit der Verminderung der Extremitäten auf acht, wie bei den Spinnen, auf sechs, wie bei den Insekten, und auf vier, wie bei den Reptilien und Säugethieren, verliert das Stehen der Thiere nicht an Sicherheit, weil die Beine sich immer in der Nähe des Schwerpunktes des Körpers befestigen; das Schreiten aber erreicht in diesen Klassen seine höchste Schnelligkeit. Die Vögel endlich stehen und schreiten auf zwei Beinen; diese Einrichtung wird nothwendig, weil ihre Vorderextremitäten sich zu Flugorganen entwickeln. Während bei den übrigen schreitenden Thieren der Körper horizontal liegt, richtet er sich bei den Vögeln mehr oder weniger auf, damit der Schwerpunkt während des Stehens und Schreitens über die Hinterextremitäten zu liegen kommt. Der Kopf insbesondere wird hiebei nach hinten geschoben, und wenn die Beine, wie

Digitized by Google

beim Pinguin, sich ganz am hintern Körperende befestigen, so muß der ganze Körper auf dem festen Lande eine völlig aufrechte Stellung annehmen. Durch diese Vertheilung der Bewegungsweisen an die vorderen und hinteren Extremitäten verliert das Schreiten der Vögel im Allgemeinen an Sicherheit und Schnelligkeit; nur beim Strauß, wo der Flug ganz zurücktritt, läßt es sich mit dem Schreiten anderer Thiere vergleichen. Vom menschlichen Schreiten kann erst später die Rede sein.

Bei allem Schreiten gilt es als Regel, daß nie sämmtliche Extremitäten zugleich den Boden verlassen. Gewöhnlich bleibt die Hälfte derselben mit dem Boden in Berührung, während die andere Hälfte sich erhebt, und diese Rollen wechseln regelmäßig zwischen den Extremitäten ab. Die Vertheilung der Rollen ist aber eine solche, daß der Körper während seiner Fortbewegung möglichst unterstützt bleibt. So erheben sich beim gewöhnlichen Gange der Vierfüßer nicht die zwei Beine derselben Seite zugleich, sondern die rechte Vorderextremität mit der linken Hinterextremität, die linke Vorderextremität mit der rechten Hinterextremität; und auch bei den übrigen, mehrfüßigen Thieren beobachtet man mehr oder weniger regelmäßig dieselbe kreuzweise Anordnung. Dadurch wird es möglich, daß die Kraft der Extremitäten zur Hälfte auf die Unterstützung, zur Hälfte auf die Fortbewegung des Schwerpunktes verwendet wird. Bei jedem neuen Auftreten wechseln zwar die Rollen; aber die Kraftvertheilung bleibt dieselbe, und die Energie der Bewegungsorgane erhält sich um so länger, weil den Bewegungsorganen nicht immer dieselbe Leistung zugemuthet, sondern abwechselnd verschiedene Muskelgruppen in Thätigkeit versetzt werden. Durch Wechsel der Thätigkeit wird die organische Kraft am längsten erhalten.

Die schreitenden Thiere sind nicht blos dieser ruhigeren, regelmäßigeren Bewegung fähig. Die meisten vermögen auch, zu springen oder zu hüpfen. Beim Sprunge bleibt keine Extremität in Berührung mit dem Boden; sondern indem alle

Digitized by Google

gewaltsam gestreckt werden, schnellen sie den ganzen Körper auf einmal in die Höhe; nach kurzer Zeit fällt der Körper wieder auf den Erdboden zurück. Lange und kräftige Extremitäten erleichtern den Sprung; aber bei manchen Thieren sind die Bewegungsorgane besonders zum Sprunge eingerichtet. Wenn nämlich, wie bei den Heuschrecken, Flöhen, Fröschen und Känguruh, die Hinterextremitäten länger und kräftiger sind, als die Vorderextremitäten, so wird das eigentliche Schreiten beschwerlich oder ganz unmöglich, weil derselbe Willenseinfluß in den Hinterbeinen größere Effekte hervorbringt, als in den Vorderbeinen. Daher bewegen sich hier die Extremitäten nicht übers Kreuz, sondern zuerst die hinteren und dann die vorderen, und den ersteren fällt bei der Lokomotion die Hauptrolle, die Ausführung des Sprunges zu. Nicht selten werden aber die hinteren Extremitäten noch durch Anhänge des hinteren Körperendes in ihrer Thätigkeit unterstützt. Der Schwanz, welcher bei der Lokomotion der Fische die größte Wichtigkeit erhält, tritt beim Känguruh wenigstens als Hilfsorgan der Ortsbewegung auf; er wird fest an den Boden angedrückt, und indem er rasch aus der gebeugten Stellung in die gestreckte übergeht, unterstützt er das Fortschnellen des Thieres. Aehnliches findet sich unter den Insekten bei den Poduren; eine gabelförmige Borste, welche sich am Hinterende des Körpers befestigt, wird unter dem Bauch angedrückt, und dann schnell ausgestreckt; so schnellt sich das Thier fußweit fort.

Aus der Gruppe der Extremitäten treten bei den hüpfenden Thieren einzelne hervor, welche für die Lokomotion eine besondere Bedeutung erhalten; die Hinterextremitäten werden stärker, als die Vorderextremitäten; alles dieses mahnt wieder an das Schreiten auf zwei Beinen, an das Schreiten der Vögel und des Menschen. Wir behalten die Betrachtung des letzteren einem späteren Abschnitte vor; aber die Analogie der hüpfenden, mit mehreren Fußpaaren versehenen Thiere mit den hüpfenden und schreitenden Vögeln führt unmittelbar zu der Untersuchung

Digitized by Google

derjenigen Lokomotionsweise, welche die Vögel vornehmlich von den anderen Wirbelthieren unterscheidet, nämlich der Flugbewegung. Das vordere von den zwei Extremitätenpaaren der Wirbelthiere gestaltet sich bei den Vögeln zu Flügeln; dasselbe geschieht unter den Säugethieren bei den Fledermäusen; bei den einzigen fliegenden Wirbellosen aber, bei den Insekten, treten zu den unteren Extremitäten, welche dem Schreiten dienen, noch andere, obere, dem Fluge gewidmete als neue hinzu.

Die schwimmenden Thiere sind allseitig von einem Medium umgeben, welches ihrem Körper als Unterlage dient. Der Körper der kriechenden und schreitenden Thiere wird von dem festen Erdboden unterstützt. Aber den fliegenden Thieren fehlt während ihres Fluges jede genügende Unterlage. Sowohl die Vögel als die Insekten sind specifisch viel schwerer, als die umgebende Luft. Kein Thier schwebt daher ohne Weiteres in der Atmosphäre, wie die Fische geradezu im Wasser schweben; sondern schon dieses Schweben wird durch die Thätigkeit lokomotorischer Organe vermittelt. Es ergibt sich schon hieraus die Nothwendigkeit höchst entwickelter Extremitäten. Während diese bei den schwimmenden und kriechenden Thieren möglichst zurücktreten, um den Reibungswiderstand im Wasser und auf dem Erdboden zu vermindern, während sie bei den schreitenden Thieren nur zur Fortbewegung beitragen, so erreichen sie bei den fliegenden Thieren ihre größte Kraft und Ausdehnung, um den Körper zugleich zu unterstützen und von der Stelle zu bewegen. Der Rumpf nimmt bei den Vögeln und Insekten an der Lokomotion den geringsten Antheil; er dient hier nur dazu, dem Fluge die Richtung und den starken Flugmuskeln feste Ansatzpunkte zu geben.

Wenn der Adler oder ein anderer der großen Raubvögel frei in der Luft schwebt, so bemerkt man häufig keine Bewegung seiner Flügel; diese befinden sich nur im Zustande der höchsten Ausdehnung. Dann wirken die Flügel nach Art der Fallschirme; ihre große Fläche erleidet von der Luft einen so bedeutenden Widerstand, daß der Fall, das Sinken des Vogels nur ganz lang-

Digitized by Google

sam erfolgt. Aber die einfache Ausbreitung der Flügel reicht nicht hin, um den Vogel auf derselben Höhe schwebend zu erhalten; soll dieses bewirkt werden, so muß er durch Bewegungen seiner Flügel geradezu dem Sinken entgegenwirken. Ein kurzer Flügelschlag hebt den Vogel wieder zu seiner vorigen Höhe empor. Wäre die Luft ein völlig widerstandloses Medium, so würde das Herabdrücken des Flügel den Fall des Vogels nicht aufhalten. Aber die Luft leistet den ausgebreiteten Flügeln einen bedeutenden Widerstand, und in demselben Maaße, als sie das Herabdrücken der Flügel verlangsamt und hindert, wird der Vogel durch jeden Flügelschlag gehoben. Der Widerstand der Luft wird dem Vogel zur Unterlage, auf welche er sich beim Fluge stützt, gerade wie der Widerstand des Wassers die Fortbewegung der Körper durch Ruder oder Flossen vermittelt. Betrachtet man nun bei einem Vogel den Anfang des Fluges, so ist immer das Erste, daß er sich in die Atmosphäre hinausstößt; er braucht vor Allem ein Medium, in welchem seine ausgebreiteten Flügel ihn fallschirmartig schwebend erhalten. Dann folgt ein Flügelschlag, der den Vogel steigen macht. Nach diesem kommt ein Moment der Ruhe, in welchem die Flügel als Fallschirme fortwirken und zugleich aus der gesenkten Stellung zu einem neuen Flügelschlage sich erheben. Folgen sich die Flügelschläge rasch, so summiren sich die Stöße, welche sie dem Vogelkörper mittheilen; der Flug wird immer schneller und höher. Langsamere Flügelschläge erhalten den Vogel auf gleicher Höhe oder lassen ihn allmählig sinken.

Die flächenartige Ausbreitung, welche die Flügel zu ihren Leistungen bedürfen, wird theils durch ausgespannte Membranen, wie bei den Insekten und Fledermäusen, theils durch Federn, wie bei den Vögeln gebildet. Nun ergibt sich aber aus den Gesetzen, welche schon bei der Schwimmbewegung erläutert wurden, daß die Flügel beim Erheben der Luft eine geringere Fläche darbieten dürfen, als beim Senken; sie dürfen dort nicht denselben Widerstand erleiden wie hier. Diese Abwechslung

Digitized by Google

wird schon durch einen verschiedenen Grad der Ausspannung der Flügel erreicht; überdieß aber scheinen die Federn der Vögel so gestellt zu seyn, daß sie die Luft bei der Hebung mit ihrer Kante, bei der Senkung mit ihrer Fläche treffen. Nach dem Grade des zu überwindenden Widerstandes richtet sich dann die Masse und Kraft derjenigen Muskel, welche die Flügel in der einen oder in der andern Richtung bewegen. Die Muskel, welche den Flügel senken, müssen viel kräftiger sein, als diejenigen, welche den Flügel heben. Daher kommt besonders bei den Vögeln die Dicke der Brustmuskel. Von der Kraft der Flugmuskel und von der Ausdehnung der Flügel hängt bei allen Thieren die Vollkommenheit des Fluges ab. Bei den bestfliegenden Vögeln reicht Ein Flügelpaar hin; bei den gutfliegenden Insekten, wie bei den Schmetterlingen, kommt hiezu noch ein zweites.

Die Befestigung der Flügel am Rumpfe geschieht immer so, daß der Schwerpunkt des Körpers zwischen die ausgebreiteten Flugorgane fällt. Aber auch in anderen Beziehungen gewinnt der Rumpf der fliegenden Thiere eine eigenthümliche Bedeutung. Die starken Muskel, welche die Flügel bewegen, haben, um mit voller Kraft wirken zu können, möglichst feste Ansatzpunkte am Rumpfe nöthig. Sie finden diese Punkte namentlich am Rumpfskelete der Vögel; denn mit Ausnahme der Schildkröten zeigt keine andere Gruppe der Wirbelthiere eine so geringe Beweglichkeit der Rumpfwirbel, der Rippen und des Brustbeines; die Muskel, welche sich an diesen Skelettheilen befestigen, können ihre ganze Kraft auf die Bewegung der Flügelknochen verwenden. Es findet sich aber bei den Vögeln noch eine weitere Vorrichtung für diese Fixirung des Rumpfskeletes. Wenn der Mensch mit seinen Armen bedeutende Lasten hebt, so befestigt er seinen Brustkorb, von welchem die Armmuskeln entspringen, nicht blos durch die Anspannung der Bauch- und Halsmuskel, sondern auch durch die möglichste Anfüllung seiner Lungen mit Luft. Das letztere Mittel wird bei den Vögeln in noch viel

Digitized by Google

höherem Maaße angewendet. Die Lungen selbst sind hier wenig ausdehnbar; aber ihre Luftkanäle stehen mit dünnhäutigen und sehr ausdehnbaren Luftsäcken in Verbindung, welche sich in der Brust- und Bauchhöhle, bei den starkfliegenden Vögeln vorzüglich in der ersteren vorfinden. Die Auftreibung dieser Luftsäcke vermehrt die Festigkeit des Rumpfskeletes um ein Bedeutendes.

Die Luftsäcke der Vögel dienen aber ihrem Fluge noch in anderer Weise. Der starke Flug verlangt eine gewisse Ausdehnung der Flügel, und mit dieser ist nicht nur die Größe der Flügelknochen, sondern auch die Masse der Flugmuskel und der Umfang des Rumpfskeletes nothwendig gegeben. Hier gilt es nun, bei gleichem Umfang das absolute Gewicht des Vogels möglichst klein zu machen, d. h. das specifische Gewicht desselben möglichst zu vermindern. Darum füllen die Eingeweide nicht die ganze Leibeshöhle aus; sondern ein Theil der letzteren wird von Luft eingenommen. Darum senden aber die Luftsäcke bei den starkfliegenden Vögeln auch Zweige in die Extremitätenknochen, und namentlich die Flügelknochen werden hohl. Konnte also auch der Vogel nicht specifisch leichter gemacht werden, als die atmosphärische Luft, so sollte doch sein specifisches Gewicht so klein als möglich sein. Gewiß kommt dieselbe Bedeutung jenen Luftsäcken zu, welche im Tracheensysteme der fliegenden Insekten sich befinden. Aber bei Vögeln und Insekten gewähren diese Säcke wahrscheinlich noch einen weiteren Nutzen. Während des raschen Fluges ist die Aufnahme von äußerer Luft in die Athmungsorgane gehemmt; zur Unterhaltung der Athmung dient während dieser Zeit die Luft der Luftsäcke, welche aus diesen theils in die Lungen, theils in die Tracheen getrieben wird. In den Luftbehältern selbst scheint keine Athmung stattzufinden.

Die sackförmigen Anhänge der Lungen und Tracheen bei den Vögeln und Insekten werden passend mit der Schwimmblase der Fische verglichen; beide Apparate dienen dazu, dem

Digitized by Google

Körper gegenüber dem Umfange, welchen er zur Ausführung seiner Muskelbewegungen bedarf, ein kleineres Gewicht zu geben. Aber bei den Vögeln und Insekten stehen diese Behälter mit den Athmungsorganen in der nächsten Beziehung, während die entsprechenden Vorrichtungen bei den Fischen nur für die Bewegung und das Gleichgewicht dieser Thiere von Bedeutung sind. Dieses hängt zunächst mit der Luftathmung der Vögel und Insekten und mit der Wasserathmung der Fische zusammen. Wir werden dadurch noch weiter zu dem Verhältnisse zwischen Lokomotion und Athmung geführt, auf welches schon früher hingewiesen worden ist. Je energischer und ausgedehnter die Muskelcontraktionen sind, durch welche das Thier seine Ortsbewegung ausführt, desto mehr Sauerstoff scheint in der Athmung verbraucht zu werden; die Intensität der Athmung hält also mit der Energie der Ortsbewegung gleichen Schritt. Bedenkt man nun, daß im Schwimmen und Kriechen die einfachsten Bewegungsapparate in Anwendung kommen, so begreift es sich leicht, warum die Fische als wasserathmende Thiere, die Schlangen als Thiere mit unvollständiger Lungenathmung nur wenig Sauerstoff in ihrem Respirationsproceß verzehren. In der Trägheit der Bewegung und in der geringen Intensität der Athmung sind auch die schreitenden Reptilien noch den Schlangen ähnlich. Erst bei den Säugethieren erhalten die Extremitäten eine höhere Kraft und Lebendigkeit der Bewegungen, und im selben Maaße gewinnt hier der Athmungsproceß an Energie. Die höchsten Leistungen aber, sowohl was die Bewegung als was die Athmung betrifft, werden bei den Vögeln beobachtet. Mit diesem Verbrauche von Sauerstoff hält aber auch die thierische Wärme gleichen Schritt; und so kommt es, daß die Fische und Reptilien als kaltblütige, die Säugethiere und Vögel als warmblütige Thiere betrachtet werden. Bei den Vögeln endlich erreicht die Wärme ihre höchsten Grade.

Wir sind von den schwimmenden Thieren bis zu den fliegenden aufgestiegen. Auf jeder Stufe zeigte sich in neuem Lichte

Digitized by Google

die höchste Weisheit, welche die mechanischen Verhältnisse des Rumpfes und der Extremitäten ganz den Medien anpaßt, in welchen sich die Thiere bewegen. Aber hiemit ist die Zweckmäßigkeit der Bewegungsorgane noch nicht erschöpft. Es gibt außer der eigentlichen Lokomotion bei vielen Thieren noch andre Bewegungen, welche theils zum Wegräumen von Hindernissen, theils zum Ergreifen der Beute dienen. Auch für diese Bewegungen fehlt es nicht an zweckmäßigen Apparaten.

Die Wegräumung von Hindernissen ist besonders bei denjenigen Thieren nothwendig, welche entweder ihre Nahrung unter dem Erdboden und überhaupt in festen Körpern suchen, oder ihren Aufenthalt in solchen festen Medien wählen. Beide Zwecke können nur durch Graben erreicht werden. Zur Entfernung der Hindernisse sind den grabenden Thieren verschiedene Organe gegeben.

Zu den räthselhaftesten unter den grabenden Thieren gehörten lange die Bohrmuscheln, welche nicht blos in weichem und festem Holz, sondern auch in harten Steinen lange Gänge graben, und dadurch den Schiffen und Hafenbauten sehr bedeutenden Schaden zufügen. Jetzt weiß man durch Hancock's Untersuchungen, daß hier die Zerkleinerung der festen Substanzen nicht durch die Schalen, nicht durch schwingende Wimper geschieht, sondern daß am runden Fuße und meist auch am Mantelrande jener Thiere kleine, scharfkantige, lichtbrechende Körperchen sitzen, durch deren Bewegung Holz und Steine zerrieben werden. Diese Körper bestehen wahrscheinlich aus Kieselsäure, und werden während des Lebens fortwährend abgeworfen und neu erzeugt. Der Fuß und Mantel verhält sich wie eine Reibscheibe, auf welcher mit Hilfe von Schmirgel Metalle oder Steine geschliffen werden. Bei den höheren Thieren finden sich für die Zwecke des Grabens keine solche besonderen Vorrichtungen; sondern Organe, welche auch andern Zwecken dienen, werden daneben zum Graben eingerichtet. So ist es bei sehr vielen Thieren mit den Krallen; und wir erwähnen in dieser Beziehung nur die langen,

Digitized by Google

scharfen, gekrümmten Nägel der grabenden zahnlosen Säugethiere, des Gürtelthiers, des Ameisenfressers und des Schuppenthieres. Wo die Entwicklung der Extremitäten eine noch höhere Stufe erreicht, da nimmt die Vorderextremität, welcher die Funktion des Grabens zufällt, die Form einer Schaufel an. So werden die Vorderbeine der Maulwurfsgrille schaufelartig breit; so verbreitert sich zu demselben Zwecke die Hand des Maulwurfes. Außerdem ist bei den grabenden Thieren überhaupt und namentlich bei den grabenden Säugethieren die allgemeine Körperform der Lokomotion angemessen. Die Extremitäten sind möglichst kurz, und die übrigen Vorsprünge der Körperoberfläche, wie Ohren und Schwanz, fehlen oft gänzlich, um dem Erdboden möglichst wenig Fläche darzubieten.

Dem Graben steht als besondere Bewegungsweise das Ergreifen äußerer Gegenstände gegenüber. Auch für diesen Zweck werden bei manchen niederen Thieren ganz besondere Vorrichtungen ausgebildet. Feine Widerhaken, welche an langen Fäden hängen, werden aus den Bläschen der Hautoberfläche der Süßwasserpolypen hervorgeschnellt. Steife Borsten bewirken an der Oberfläche der Quallen das Anhängen fremder Körper. Viele Eingeweidewürmer befestigen sich durch Hakenkränze in den Eingeweiden anderer Thiere. Endlich finden sich ankerförmige Haken auch an der Hautoberfläche mancher Stachelhäuter. Alle diese Angelorgane der niederen Thiere dienen keinen anderen Zwecken, als dem Ergreifen äußerer Gegenstände. Aber bei den höheren Thieren entwickeln sich die Extremitäten zu Greiforganen. Vielfach, bei Insekten und Spinnen, wie bei höheren Wirbelthieren, geschieht dieses nur durch Klauen, welche sich an den Enden der Extremitäten befestigen; auf solche Weise ergreifen die Raubvögel und die reißenden Säugethiere ihre Beute. Aber bei höher entwickelten Greiforganen verändert sich nicht blos die Oberhaut, sondern die innere Organisation der Extremitäten. Die äußersten Abtheilungen der Extremitäten stellen sich einander so gegenüber, daß die eine an die andere ange-

Digitized by Google

drückt wird, daß beide zusammen zangenartig den Gegenstand umfassen. Solche Zangen sind schon in den Pedicellarien der Seeigel und Seesterne ausgebildet; sie wiederholen sich in den Raubfüßen mancher Insekten und Krebse, wo das eine Glied der Extremität schnappmesserartig in das vorhergehende paßt. Aber ächte Greiforgane treten doch zum ersten Male an den Scheeren der Krebse und Skorpione auf. Hier entwickelt sich im letzten Gliede der Extremitäten selbst ein solcher Gegensatz, daß die eine Hälfte sich an der anderen einlenkt, daß beide zangenartig zusammenwirken.

So wird bei den Wirbellosen die Hand wenigstens angedeutet. Aber erst bei den Wirbelthieren gewinnt diese ihre wahrhafte Ausbildung. Die äußersten Glieder der Extremitäten bestehen bei den Wirbelthieren höchstens aus fünf, parallel neben einander liegenden Knochenreihen; jede dieser Reihen enthält drei oder vier längliche Knochen, und alle zusammen begreift man unter dem Namen des Fußes. Aber die einzelnen Knochenreihen verhalten sich zu einander nicht überall auf die gleiche Weise. Im Allgemeinen liegen die fünf Anfangsknochen aller Reihen in einer gemeinsamen, umhüllenden Haut verborgen und werden als Mittelfuß beschrieben; die übrigen Knochen dienen als Unterlage für die zwei- oder dreigliedrigen Zehen, welche frei an den Enden der Extremitäten hervorragen. Zweigliedrige Zehen finden sich nur da, wo fünf Knochenreihen vorhanden sind; sie liegen dann am inneren Rande der Füße und werden als die große Zehe bezeichnet. Bei den meisten Wirbelthieren treten nun die einzelnen Finger und Zehen trotz ihrer verschiedenen Länge und Dicke doch in keinen lebendigen Gegensatz zu einander. Aber nicht blos bei Säugethieren, sondern auch bei Vögeln und Reptilien stehen bisweilen die Zehen einander in der Ruhe und vorzüglich in der Bewegung so gegenüber, daß sie zangenartig äußere Gegenstände umfassen. In diesem Falle erhalten dann die äußersten Extremitätenglieder, sie mögen vorn oder hinten

Digitized by Google

stehen, den Namen der Hand. Ihre einzelnen Knochenreihen heißen Finger, und der innerste von diesen der Daumen.

Unter den Reptilien bietet nur eine einzige Gattung, das Chamäleon, eine handartige Bildung dar. Die fünf Zehen aller vier Extremitäten theilen sich so ab, daß zwei von den drei andern durch eine tiefere Spalte geschieden werden; mit diesen zwei Zehengruppen umfaßt das Chamäleon die Zweige der Bäume. Auch bei den greifenden Vögeln enthält jede Abtheilung der Hand noch mehrere Zehen; beim Papageien z. B. stehen, wenn er mit seinen Beinen äußere Gegenstände anfaßt, zwei Zehen nach vorne und zwei nach hinten. Ebenso bleibt es noch bei Einer Gattung der Säugethiere. An den Vorderextremitäten eines Beutelthieres, des Koala, befinden sich fünf Finger, welche sich, wie beim Chamäleon, in zwei und drei abtheilen. Aber bei den übrigen, mit Händen versehenen Säugethieren tritt nur der Daumen oder die große Zehe den übrigen Fingern oder Zehen gegenüber. Eine solche Handbildung kann sowohl an den hintern, als an den vordern Extremitäten der Thiere vorkommen. Fußhänder finden sich nur in der Abtheilung der Beutelthiere; aber bei den Affen finden sich Hände sowohl an den Vorder- als an den Hinterbeinen. Im Menschen erst werden wir ein Geschöpf kennen lernen, das nur an den vordern, hier obern Extremitäten Hände trägt.

Es ist kein Zweifel, daß besondere Greiforgane eine höhere Stufe in der Entwicklung der Bewegungswerkzeuge bezeichnen. Hier bleibt die äußere Umgebung nicht blos die Unterlage, auf welche das Thier bei seiner Bewegung sich stützt; sondern das Thier erfaßt selbständig die äußeren Gegenstände, um sie zu seinen Zwecken zu verwenden. Bei keinem Thiere wird dieses Ergreifen der äußeren Körper zu einem wirklich freien; nur die menschliche Hand führt Bewegungen aus, welche mit der Lokomotion nichts zu thun haben; aber durch alle thierischen Hände wird zugleich das selbständige Ergreifen und die Ortsbewegung vermittelt. So kommt es, daß für die Thiere die Hand gerade

Digitized by Google

zum Lokomotionsorgane wird; alle Thiere, welche mit Händen versehen sind, haben den Charakter der Kletterthiere. So verhält es sich mit dem Chamäleon, mit dem Specht und Papagei, mit den Beutelthieren und Affen; sie leben auf Bäumen, an deren Zweigen sie durch ihre Hände sich festhalten. Wie aber bei den hüpfenden Thieren nicht selten der Schwanz die Ortsbewegung unterstützt, so tritt er auch bei vielen Kletterthieren als Hilfsorgan zu den eigentlichen Bewegungsorganen hinzu. Ein solcher Greifschwanz findet sich sowohl beim Chamäleon als bei den kletternden Beutelthieren und bei mehreren Affen. Der Rumpf nimmt an der Ortsbewegung in allen denjenigen Fällen Theil, wo die Entwicklung der Extremitäten nicht hinreicht, um die verlangten Bewegungen auszuführen.

Wo keine eigenen, äußeren Greiforgane vorhanden sind, da wird diese Funktion von dem Munde, von den Lippen und Zähnen der Thiere ausgeführt. Aber auch diese Theile werden bisweilen zu einer höheren Stufe der Organisation erhoben. Unter allen Thieren der jetzigen Schöpfung steht der Elephant allein mit der großartigen Entwicklung seiner Nase zu einem langen, muskulösen, kräftigen Rüssel, welcher durch den fingerartigen Fortsatz seines Endes zu einem wahren Greiforgane sich gestaltet. Bei andern Thieren ist es aber die fleischige Zunge, welche nicht blos innerhalb der Mundhöhle die Nahrungsmittel fortbewegt, sondern auch außerhalb der Lippen zum Erhaschen der kleinen Beute dient. So wird die höchst vorstreckbare Zunge beim Chamäleon, beim Specht, beim Ameisenbären und den verwandten zahnlosen Säugethieren verwendet. Hier gilt wieder das schon erwähnte Gesetz, daß, wo die äußeren Bewegungsorgane nicht hinreichen, innere, sonst dem Stoffwechsel dienende Theile sie unterstützen oder an ihre Stelle treten.

Mit diesen freiesten Formen der Bewegung schließen wir die Betrachtung der äußeren Bewegungsorgane. Aus dem ungeschiedenen Körper treten immer vollkommener die Extremitäten hervor, um die Einwirkung der Thiere auf ihre Umgebung kräftig

Digitized by Google

zu vermitteln. Wir haben in dieser Betrachtung keinen Schritt gethan, ohne den klaren Beweisen der schaffenden Weisheit zu begegnen. Zwei Bedingungen waren überall erfüllt, die Rücksicht auf die physikalischen Gesetze der Bewegung und des Gleichgewichtes und die strengste Beobachtung der Gesetze der organischen Gestalt. In kleinen Maaßen zeigte sich überall das Höchste vollbracht, und menschliche Leistungen erscheinen nur wie elende Bruchstücke gegenüber von den vollendeten Werken der unendlichen Weisheit.

Noch Eine Klasse von Organen bleibt jetzt der Betrachtung übrig,

H. Die Centralorgane des Nervensystemes.

Wenn in allen bisherigen Gebieten der thierischen Bildung die Gesetze der Physik und Chemie hinreichten, um die innere Zweckmäßigkeit der Organisation darzuthun, so lassen sich in die Centralorgane des Nervensystems nur wenige tiefere Blicke thun. Ihre Thätigkeit ist für uns zugleich ein ungelöstes Räthsel und eine mächtige Aufforderung zur Bewunderung des Schöpfers, der in unscheinbare Organe so großartige, umfassende Kräfte gelegt hat.

Wir haben schon früher gezeigt, daß alle Centraltheile des Nervensystems, alle Ganglien durch ihren Gehalt an Ganglienkugeln sich auszeichnen. Allein kein Ganglion besteht nur aus diesen zellenartigen Formelementen; sondern außer denselben finden sich in jedem noch Nervenfasern, welche wahrscheinlich theils die Ganglienkugeln unter einander verbinden, theils in peripherische Nervenstränge übergehen. Um etwas Bestimmteres über die Vorgänge in den Centralorganen des Nervensystems aussprechen zu können, wäre vor Allem eine genaue Kenntniß des inneren Baues der Ganglien nothwendig. Aber man ist in dieser Beziehung noch nicht über das Allgemeinste hinausgekommen, und man kann daher noch nicht hoffen, einen Zusammenhang zwischen dem besonderen Bau und der besonderen

Digitized by Google

Thätigkeit einzelner Ganglien aufzufinden. Wir begnügen uns daher mit der Angabe einiger Punkte, welche Licht über die innern Vorgänge des Nervensystems verbreiten können.

Wie das System der Kreislaufsorgane eine um so höhere Stufe der Ausbildung einnimmt, je mehr jenes System centralisirt, je bestimmter in ihm die bewegende Kraft an Ein Organ gebunden ist, so erhebt sich auch das Nervensystem durch verschiedene Stufen zu dem höchsten Punkte der Concentration, welchen es bei den Säugethieren einnimmt. Ein Kreis von kleinen Ganglien umgibt bei den Quallen, bei den Stachelhäutern und vielleicht auch bei den Polypen die Mundöffnung. Keines dieser Ganglien gewinnt das Uebergewicht über die andern; ihr einziger Unterschied scheint ihre Lage, ihre Beziehung zu den verschiedenen Gegenden, Armen, Tentakeln des Thieres zu sein. Von diesen Ganglien gehen Fasern aus, welche die Ganglien theils unter sich, theils mit den Organen verbinden. Aber die Fasern, welche sich zu den Organen begeben, gehen gleicher Weise zu den inneren Organen des Stoffwechsels, wie zu den äußeren Sinnes- und Bewegungsorganen. Der durchgreifendste Unterschied in den thierischen Thätigkeiten ist also in diesen Ganglien der niedersten Thiere noch nicht ausgeprägt. Aber schon bei den kopflosen Thieren der zweischaligen Muscheln werden einzelne Ganglien größer, als die übrigen, und je mehr sich bei den Ringelwürmern, bei den Schnecken und Kopffüßern, bei den Krebsen, Spinnen und Insekten das vordere Körperende als Kopf ausprägt, desto entschiedener entwickelt sich über dem Schlunde jener Thiere eine Hauptganglienmasse, das Gehirn. Was bei diesen Wirbellosen vorbereitet ist, das erhält seine volle Ausbildung bei den Wirbelthieren; bei diesen gewinnt das Gehirn das größte Uebergewicht über die anderen Ganglien des Systemes. Mit der Ausbildung des Gehirns geht die Scheidung der Ganglien nach den beiden Seiten der thierischen Thätigkeit gleichen Schritt; ein Theil der Ganglien wendet sich den Organen der Verdauung, der Athmung, der Absonderung

Digitized by Google

und des Kreislaufes zu; der überwiegende Theil, zu welchem auch das Gehirn gehört, versieht die Organe der Sinnesthätigkeit und willkührlichen Bewegung mit Nervenfasern.

Die Concentration und die innere Gliederung des Nervensystems äußert sich ebensosehr in der Thätigkeit, als in dem Baue und der Gestalt seiner Ganglienmassen. Die Centralorgane des Nervensystems, wie die Kreislaufsorgane nehmen unter allen thierischen Organen die höchste Stellung ein, weil sie für eine große Anzahl anderer Organe die Mittelpunkte bilden. Daher erlischt das Leben, wenn der Kreislauf oder die centrale Nerventhätigkeit unterbrochen wird. Aber dieser Einfluß äußert sich besonders stark beim Nervensysteme; mit der Zerstörung seiner Centralorgane hört sogleich eine ganze Reihe von energischen und umfangreichen, äußeren Lebenserscheinungen auf. Gerade die Abhängigkeit der äußeren Bewegungen vom Nervensysteme macht es möglich, die Bedeutung der einzelnen Ganglienmassen für das Gesammtleben der Thiere zu schätzen. Die Süßwasserpolypen können in mehrere Theile zerschnitten werden, ohne daß die einzelnen Stücke zu leben aufhören; vielmehr ergänzt sich jeder Theil durch Neubildung wieder zum vollständigen Thiere. Aehnlich verhalten sich die Ringelwürmer; wenn ein Regenwurm in der Mitte quer durchschnitten wird, so lebt jede Hälfte fort und ersetzt die Theile, welche ihr zum vollständigen Thiere fehlen. Aber in allen Thieren, welche einen ausgebildeten Kopf mit starkem Hirnganglion darbieten, also bei den höchsten Wirbellosen wie bei allen Wirbelthieren, hebt die Entfernung des Kopfes oder die Zerstörung des Gehirns das Leben des Organismus überhaupt auf.

Dieser Unterschied erklärt sich am besten aus der verschiedenen Dignität der einzelnen Ganglienmassen des Thierkörpers. Bei den Polypen und Quallen wiederholen die einzelnen Abschnitte des Körpers, welche kreisförmig um die Mundöffnung herum stehen, nach Gestalt und Thätigkeit einen und denselben Grundtypus; und ebenso stellt der Ganglienkreis jener Thiere

Digitized by Google

nur die gleichmäßige Wiederholung desselben organischen Apparates dar. Etwas Aehnliches zeigt sich am Körper der Ringelwürmer, nur daß hier die gleichwerthigen Körperabschnitte und Ganglien nicht im Kreis, sondern der Länge nach hinter einander stehen. Jeder Körperabschnitt enthält bei den Strahlthieren und Würmern alle Bedingungen zu seinem Leben, insbesondere die Nervenmittelpunkte, deren Thätigkeit für das Leben wesentlich nothwendig ist. Aber mit der Bildung eines Gehirns bleibt die Vertheilung der Nerventhätigkeit in den Ganglien des Körpers nicht eine gleichmäßige. Die obersten, centralsten Funktionen des Nervensystems, mit deren Aufhören das Leben überhaupt erlischt, sammeln sich in derjenigen Ganglienmasse, welche auch durch ihren räumlichen Umfang alle anderen übertrifft. Mit der Wegnahme des Gehirns erlischt daher nicht blos das Leben jenes Körperabschnittes, den man als Kopf bezeichnet, sondern das Leben des Thieres überhaupt.

Hier entsteht nun die Frage, welches denn eigentlich die Thätigkeiten seien, die sich im Gehirne der Thiere concentriren. Um aber dieses erläutern zu können, muß noch vorher auf den Unterschied zurückgegangen werden, der bei allen höheren Thieren zwischen den Ganglien der Bewegungs- und Sinnesorgane und zwischen den Eingeweideganglien besteht. Nach dem, was früher (II. 269 ff.) von der Thätigkeit der Nervenzellen gesagt worden ist, kommt diesen und durch sie den Ganglien theils die Vermittlung der Reflexbewegungen, theils die Aufnahme von Sinneseindrücken und die Erregung willkührlicher Bewegungen zu. Im Gebiete der Eingeweideganglien beschränkt sich die Thätigkeit zum größten Theile auf Reflexbewegungen. Diese Ganglien schicken Nerven theils zum Magen und zum übrigen Darmkanal, theils zu den Athmungsorganen, theils zu den Drüsen, theils zu dem Herzen und den übrigen Blutgefäßen. Von diesen Ganglien gehen Bewegungsreize zu allen genannten Organen; und an allen solchen Bewegungsreizen hat das Bewußtsein und die Willkühr des Thieres durchaus keinen Theil. Kein Thier

Digitized by Google

vermag willkührlich auf die Bewegungen seines Magens oder seines Herzens einzuwirken. Nur in den Athmungsorganen vermengt sich Willkührliches mit Unwillkührlichem so, daß die Athembewegungen durch den Willen des Thieres beschleunigt, verlangsamt und angehalten werden können, aber auch ohne den Willenseinfluß des Thieres fortdauern. Der Reiz zu allen diesen unwillkührlichen Bewegungen kommt also von den Eingeweideganglien; er ist je nach der Energie dieser Ganglien stärker oder schwächer. Aber die Thätigkeit der Ganglien bedarf in den meisten Fällen wieder eines äußeren Anstoßes. So scheinen die Herzganglien auch ohne den Reiz des Blutes eine Zeit lang die Herzmuskel in Bewegung zu setzen; aber die Muskel des Darmkanales ruhen, so lange ihre Ganglien nicht durch Speisen, welche sich im Darmrohre befinden, zur Thätigkeit angeregt werden. Dieser äußere Reiz gelangt zu den Ganglien von den Oberflächen aus durch centripetale Nervenfasern, und es ist die Funktion der Ganglien, jenen Reiz mit verschiedener Energie und Schnelligkeit in einen Bewegungsreiz zu übersetzen.

Hier, in den Eingeweideganglien ist also bei den Wirbellosen und Wirbelthieren Alles, sowohl die centrifugale, als die centripetale Nerventhätigkeit dem Bewußtsein und Willen entzogen. Nicht blos die chemische Seite des Stoffwechsels, sondern auch aller Nerveneinfluß, welcher die Organe der Stoffbereitung und Stoffzersetzung in der mannigfaltigsten Weise bestimmt, wird durch Gesetze und Motive geleitet, mit denen die Willkühr des Thieres nichts zu schaffen hat. Diese *unbewußte* Seite der Nerventhätigkeit hat für das thierische Leben die höchste Bedeutung. Von ihr hängt zum großen Theile das richtige Zustandekommen aller jener organischen Processe ab, welche dem Leben des Thieres als die eigentliche Unterlage dienen, der Processe der Verdauung, der Athmung, der Absonderung und der Blutbereitung. Die höchste Weisheit hat diese Processe dem wechselnden Einflusse der thierischen Willkühr entzogen. Das thierische Bewußtsein vermochte den inneren Zusammenhang dieser

Digitized by Google

Processe nicht in sich aufzunehmen, und daher mußten auch die Bedingungen derselben auf eine sichere Basis und nicht auf die schwankenden, von äußeren Reizen abhängigen Willensbestimmungen der Thiere gegründet werden.

Die freiere Richtung der Nerventhätigkeit findet sich in jenen Ganglien, welche dem Gehirn untergeordnet oder selbst Theile des Gehirnes sind. Im ganzen Gebiete dieser Ganglien werden die centripetalen Reize zum Gehirn geleitet, und die centrifugalen gehen vom Gehirne aus. Es scheint, daß alle Nervenfasern der Sinnesorgane und ebenso alle Nervenfasern der willkührlichen Bewegungsorgane im Gehirn erst ihr Ende finden. Die Abhängigkeit aller Sinneseindrücke und aller willkührlichen Bewegungen vom Gehirn ergibt sich hieraus von selbst; beide Gruppen von Erscheinungen sind bei den höheren Wirbellosen und bei allen Wirbelthieren unmittelbar aufgehoben, wenn die Nerven der betreffenden Organe vom Gehirne getrennt werden. Dieses Gesetz gilt für alle Sinnesnerven ohne Ausnahme; es gilt namentlich für die Tastnerven der ganzen Körperoberfläche. Aber ganz besonders findet es seine Anwendung für die Organe des Gesichts, des Gehörs, des Geruchs und des Geschmacks. Je höher entwickelt ein Gehirn ist, desto inniger schließen sich die genannten Sinnesorgane seiner Oberfläche an, und desto bestimmter gränzt sich der Körpertheil, der jene Organe trägt, als Kopf von dem übrigen Körper ab. Wir haben schon früher die Mitte, das Band, welches die Sinneseindrücke mit den willkührlichen Bewegungen vereinigt, als das Bewußtsein der Thiere bezeichnet. Nach den letzten Auseinandersetzungen erscheint dieses Bewußtsein als eine Thätigkeit des Gehirns; in ihm ist die Vereinigung der centripetalen und centrifugalen Nerventhätigkeit gegeben, und es wendet sich bald der einen bald der anderen Seite der Nervenfunktion überwiegend zu.

Wie verhält sich dieses Bewußtsein in denjenigen Thieren, welchen ein überwiegendes Gehirn fehlt? Das Eine Gehirn

Digitized by Google

mag wohl die centrale Nerventhätigkeit vermitteln; aber wie soll man das Bewußtsein mit den gleichwerthigen Nervenganglien der Quallen oder Würmer in Beziehung setzen? Hält man an dem Grundsatze fest, daß in den Organismen die Gestalt und Anordnung auf das Zustandekommen der einzelnen Thätigkeiten einen Schluß zu ziehen erlaubt, so muß man allerdings annehmen, daß in jenen Thieren das Bewußtsein kein einzelnes Organ zu seinem besonderen Substrat finde, sondern daß es sich in den gleichwerthigen Ganglien jener Thiere auf gleiche Weise äußere. Dann hat es auch nichts Befremdendes, daß bei manchen Würmern nicht blos das vordere Ende, sondern auch die übrigen Abschnitte des Körpers mit Sinnesorganen, vorzüglich mit Augen ausgerüstet sind; denn diese Organe finden in jedem Abschnitte Ganglien, durch welche die Aufnahme ihrer Eindrücke ins Bewußtsein vermittelt werden kann. Wir denken allerdings das Bewußtsein der Thiere an sich als ein einziges, ungetheiltes; aber bei den niedersten Thieren erscheint es in der Wirklichkeit nur als die Summe der centralen Funktionen, welche durch die verschiedenen Körperganglien ausgeführt werden. Der Unterschied der niedersten Thiere von den höheren ist aber in diesen, wie in anderen Beziehungen kein absoluter. Wenn gleich das Gehirn der letzteren als das ausschließliche Organ des Bewußtseins angesehen werden muß, so entspricht es dieser Thätigkeit doch nicht dadurch, daß in ihm das Bewußtsein an einen besonderen, räumlich abgeschlossenen, nicht weiter zusammengesetzten Theil gebunden wäre; sondern auch im höchstorganisirten Gehirn wird das Eine Bewußtsein ohne Zweifel durch eine sehr bedeutende Summe von Formelementen vermittelt.

Das thierische Bewußtsein verhält sich also in dieser Beziehung dem Principe der Individualität völlig gleich. Seine Einheit findet ihre Erklärung nicht im Baue des Thierkörpers, nicht in einem einzelnen Organe oder Systeme; sondern ihr Grund muß außerhalb des thierischen Individuums, in dem schaffenden Gott gesucht werden. Darum verhält sich aber doch der Bau

des Nervensystemes so, daß aus der zusammenwirkenden Thätigkeit seiner einzelnen Theile das Eine Bewußtsein, welches ideal vor und über den einzelnen Theilen besteht, sich als nothwendiges Resultat ergibt.

Wir werden die Frage nach dem Bewußtsein der Thiere bei der Uebersicht dieses Abschnittes noch einmal aufnehmen. Hier muß das Verhältniß der übrigen Nerventhätigkeit zu der centralsten Thätigkeit der Hirnganglien noch weiter verfolgt werden. Wir haben schon vorhin darauf hingedeutet, daß nicht alle Ganglien, welche im Gebiete der Sinnesthätigkeit und willkührlichen Bewegung vorhanden sind, sich zum Gehirn, als dem eigentlichen Sitze des Bewußtseins zusammendrängen. Bei den Weichthieren liegen noch weitere Ganglien im Körper zerstreut; bei den Krebsen, Spinnen und Insekten treten diese Ganglien zu dem Bauchstrange zusammen, welcher unterhalb der Eingeweide sich durch die Körperhöhle von vorn nach hinten ausdehnt; bei den Wirbelthieren vereinigen sie sich zum Rückenmarke, welches als eine zusammenhängende, längliche Masse sich an der Rückenseite hinzieht. Die sonstige Bedeutung der Ganglienkugeln läßt vermuthen, daß auch diesen Ganglien centrale Thätigkeiten zukommen; aber Versuche beweisen, daß durch diese Ganglien weder Sinneseindrücke ins Bewußtseyn aufgenommen werden, noch vom Bewußtsein Bewegungsreize ausgehen. Es dürfen daher auch in den zerstreuten Ganglien der Weichthiere, im Bauchstrange der Krebse, Spinnen und Insekten und im Rückenmarke der Wirbelthiere centrale Thätigkeiten vorausgesetzt werden, welche den Thätigkeiten der Eingeweideganglien entsprechen. Auch diese Nervencentren müssen Reflerbewegungen vermitteln, nur daß der äußere Anstoß hier nicht von den Organen des Stoffwechsels, sondern von der äußeren Körperoberfläche kommt, daß die Bewegungen nicht in den Muskeln der Eingeweide, sondern in den äußern Muskelgruppen erregt werden.

In der That bedarf es nur der Entfernung des Gehirnes, um diese Reflerbewegung der willkührlichen Muskel im reichsten

Digitized by Google

Maaße zu beobachten. Ein Frosch, welchem der Kopf abgeschnitten ist, hat ohne Zweifel kein Bewußtsein mehr; aber die Berührung seiner äußeren Körperoberfläche bleibt darum nicht ohne Wirkung. So lange die Reizbarkeit der Nerven noch andauert, folgt auf die Reizung einer Hautstelle die Bewegung des betreffenden Gliedes und sehr häufig auch die Mitbewegung anderer Körpertheile. Hier geschieht also dasselbe, wie in den Muskeln der Eingeweide. Ein äußerer Eindruck wirkt auf die centripetalen Nerven; aber er gelangt nicht nicht zu den Ganglien, welche das Bewußtsein vermitteln; sondern er wird zu untergeordneten Ganglien geleitet und erregt diese zu Bewegungsreizen, an welchen das Bewußtsein keinen Antheil hat. Die Reflexbewegungen, welche in den Organen des Stoffwechsels erfolgen, sind, wie wir früher zeigten, den äußeren Eindrücken angemessen; sie bewirken auf zweckmäßige Weise die Fortschiebung der Nahrungsmittel, die Ausleerung der Sekrete, den Kreislauf des Blutes. Aber auch in den Reflexbewegungen der äußeren Muskelgruppen fehlt es keineswegs an dieser Zweckmäßigkeit. Wird beim geköpften Frosche eine Hautstelle des Rumpfes gekneipt oder auf andere Weise gereizt, so bewegt der Frosch eine vordere oder hintere Extremität nach dieser Stelle hin; bei stärkerer Reizung aber werden ausgedehntere Muskelapparate in Thätigkeit versetzt, und der Frosch hüpft weiter, wie er es vor der Entfernung des Kopfes auch gethan hätte.

So greifen in Gebiete, welche ganz vom Bewußtsein beherrscht schienen, unbewußte Thätigkeiten gewaltig ein. Muskelbewegungen, welche das Thier durch Vermittlung des Gehirns willkührlich erregt hatte, werden nach Zerstörung des letzteren auf äußere Reize unbewußt ausgeführt. Man wird durch diese Beobachtung zu der Annahme geleitet, daß auch in den willkührlichen Bewegungen ein unbewußtes Moment eine bedeutende Rolle spiele. Wirklich läßt sich aber auch nicht wohl annehmen, daß bei der Ortsbewegung der Thiere das Bewußtsein sich auf jeden einzelnen, in Thätigkeit gesetzten Muskel

richtet. Besonders neugeborene Thiere bewegen ihre Glieder angemessen, ohne daß man ihnen die klar bewußte Einwirkung auf einzelne Muskel zuschreiben könnte. Der bewußte Antrieb zur willkührlichen Bewegung scheint bei den Thieren nicht auf jeden besonderen Muskel, sondern auf ganze Muskelgruppen gerichtet zu sein. Dieser Antrieb entbehrt noch die Schärfe, welche seine eigentliche Ausführung bedarf; und die richtige Combination der einzelnen Muskelaktionen zu dem gewollten Gesammteffekte wird nicht durch das Organ des Bewußtseins selbst, sondern durch untergeordnete Mittelpunkte ausgeführt. Die Nervenfasern derjenigen Muskel, welche bewegt werden sollen, werden wohl im Gehirn durch die bewußten Bewegungsreize angesprochen; aber das richtige Maaß und den innern Zusammenklang erhalten die Bewegungsreize erst an den Stellen, wo die centrifugalen Nervenfasern noch einmal mit untergeordneten Ganglien in Berührung treten. Wir kennen diesen Mechanismus des Nervensystemes noch durchaus nicht genau; aber wir müssen im Verlaufe der motorischen Nervenfasern Vorrichtungen annehmen, die das allgemeinere, vom Bewußtsein ausgehende Bewegungsmotiv mit richtiger Abwägung in die Reize zerlegen, welche die einzelnen Muskel und Muskelfasern in Thätigkeit setzen sollen.

Wenn man also von bewußten Bewegungen spricht, so muß dieses immer mit einem bestimmten Vorbehalte geschehen. Das Bewußtsein thut in jenen Bewegungen nicht Alles; es gibt vornehmlich den ersten Anstoß; aber an der Ausführung des Einzelnen nimmt die Thätigkeit untergeordneter Ganglien wesentlichen Antheil. Dieser Antheil tritt unter verschiedenen Umständen mit verschiedener Bedeutung auf. So lange das Gehirn auf die willkührlichen Muskel wirkt, stehen die untergeordneten Ganglien ganz in seinem Dienste; aber sobald das Bewußtsein von einzelnen Partieen oder von dem ganzen Gebiet der willkührlichen Bewegungsorgane sich abwendet, vermögen die Ganglien mit wachsender Kraft sich in Reflexbewegungen zu äußern. Dieses geschieht schon im wachen Zustande

Digitized by Google

häufig, so im Niesen, im Husten, im Zucken einzelner Theile auf äußere Reize; es geschieht noch mehr im Schlafe, und mit der größten Freiheit wirken jene Ganglien bei vielen Thieren nach Entfernung des Gehirnes. Die untergeordneten Thätigkeiten werden entbunden, wenn die höhere und herrschende Thätigkeit zu wirken aufhört.

Der Schein der Willkührlichkeit in den thierischen Bewegungen verhüllt eines der wunderbarsten Beispiele von Zweckmäßigkeit, welches in jenen Bewegungen gegeben ist. Nicht blos die Bewegungen in den Organen des Stoffwechsels, sondern auch die bewußten Bewegungen weisen mit Bestimmtheit auf eine Organisation des Nervensystems hin, welche, unabhängig vom Bewußtsein, das richtige Zustandekommen der thierischen Bewegungen vermittelt. Bei den unwillkührlichen Bewegungen bewirkt diese Einrichtung Alles; bei den willkührlichen gehört sie wenigstens nothwendig zur Ausführung der gewollten Bewegungen. Es ist freilich noch nicht möglich, etwas Näheres und Einzelnes über die Art dieser Einrichtung auszusprechen; unsere Kenntnisse des Nervensystemes sind hiefür noch ganz unzureichend. Aber was man von der Nerventhätigkeit weiß, genügt doch vollkommen, um das Wirken jener göttlichen Weisheit darzuthun, welche jedes Individuum als ein harmonisches Ganzes geschaffen hat. Auch die willkührlichen Bewegungen haben zu ihrer Grundlage eine Gesetzmäßigkeit, welche jenseits des thierischen Bewußtseins liegt, welche aber mit diesem Bewußtsein zu gemeinsamen Effekten zusammenwirkt.

Auf solche Weise verkleinert sich der Kreis des Bewußtseins weit mehr, als man auf den ersten Blick vermuthen könnte. Aber die Gebiete des Nervensystems, über welche das Bewußtsein keine Macht hat, bleiben darum nicht ohne alle Einwirkung auf die höchste, centralste Nerventhätigkeit. Wir sprechen hier nicht von krankhaften Zuständen, sondern von den normalen Einflüssen der untergeordneten Ganglien auf das Gehirn. Von den inneren Zuständen des Körpers erhält das Thier in seinem

Bewußtsein offenbar keine klaren Eindrücke; aber es empfindet doch jene Zustände unter der Form von Lust und Unlust. Der ungehinderte Gang der organischen Processe bringt den ersten, jede Hemmung bringt den zweiten Eindruck im Bewußtsein hervor. Durch dieses dunklere Gemeingefühl führt das Bewußtsein die Kontrole über das richtige Zusammenwirken aller Organe zum Gesammtleben des Individuums. Ist es Erfahrung, was das thierische Bewußtsein in diesen Gefühlen leitet? Wir erkennen vielmehr auch hier die ursprüngliche, göttliche Harmonie, welche im Bewußtsein der Thiere sich als das richtige Maaß für die Beurtheilung der Körperzustände äußert.

So trifft im Bewußtsein der Thiere dreierlei zusammen, die Sinneseindrücke, die dunklen Eindrücke des Gemeingefühls und die Motive zu äußeren Bewegungen. Das Auszeichnende des Bewußtseins ist eben dieses, daß es das einheitliche Band jener Processe darstellt. Je höher ein Thier steht, desto mehr entwickelt sich gerade die innerlichste Seite des Bewußtseins, deren Zweck nur die Verbindung seiner äußeren Thätigkeiten ist. In der Gruppe der Wirbelthiere erreicht diese Entwicklung ihre höchste Stufe. Nicht nur zeigt hier das Gehirn die größte räumliche Ausdehnung; sondern im Bereiche des Gehirnes selbst tritt Eine Abtheilung als der vornehmliche Sitz jener innerlichsten Thätigkeit des Bewußtseins hervor.

Das Wirbelthierhirn besteht wesentlich aus drei Abtheilungen, aus dem Vorder-, Mittel- und Hinterhirn. Die Bedeutung des Vorderhirnes ist bis jetzt durch Versuche am klarsten geworden. Dieses vordere oder große Gehirn ist gegen äußere Eindrücke ganz unempfindlich; seine mechanische Reizung ruft keine Muskelcontraktionen hervor. Aber wenn das große Gehirn entfernt wird, so versinkt das Thier in völlige Stumpfheit; es zeigt keine Empfindlichkeit mehr für Sinneseindrücke und regt selbständig keine Bewegungen mehr an. Hier ist also der Sitz des eigentlichen, innersten Bewußtseins. Hier werden nicht erst Sinneseindrücke ins Gehirn eingeführt, nicht fertige

Digitized by Google

Muskelreize zu den centrifugalen Nerven geleitet; sondern hier ist die rechte Werkstätte der centralsten Thätigkeit, welche die Eindrücke der Sinne und des Gemeingefühls in sich bewegt und mißt, und welche in gleicher Weise die Motive der Bewegung nach den peripherischen Nerven ausstrahlt. Wenn man will, so kann man diese Thätigkeit die Intelligenz der Thiere nennen; wir werden auf sie in der Uebersicht dieses Abschnittes zurückkommen. Von den übrigen Theilen des Gehirnes sei hier nur bemerkt, daß das Mittelhirn vorzüglich zum Auge, das Hinterhirn oder kleine Gehirn vorzüglich zur Ortsbewegung in Beziehung zu stehen scheint. Nach allen Versuchen kommt dem kleinen Gehirn die regulatorische Bedeutung, welche wir den untergeordneten Ganglien zuschrieben, im höchsten Maaße zu. Mit der Wegnahme des kleinen Gehirns hören die Ortsbewegungen nicht auf; aber sie kommen nicht zu Stande, weil das Thier die Einzelbewegungen nicht mehr zu einem Gesammteffekte zu combiniren vermag. So wiederholen sich im Gehirne der Wirbelthiere auf einer höheren Stufe noch einmal die drei Seiten der Nerventhätigkeit überhaupt, die Beziehung zu den Bewegungen im Hinterhirn, die Beziehung zu sensoriellen Eindrücken im Mittelhirn und die oberste, verbindende Thätigkeit im vordern oder großen Gehirn.

Wir halten hier inne, um später noch einmal an diese wunderbaren Vorgänge anzuknüpfen. Die göttliche Weisheit feiert hier um so höhere Triumphe, je dunkler die organischen Vorgänge sind, durch welche sie wirkt. Hier sei nur noch der Schutz erwähnt, welchen das Gehirn auf seinen höchsten Entwicklungsstufen vom Skelete der Thiere erhält. Schon bei den Sepien wird das Gehirn von einer knorpeligen Kapsel eingeschlossen; aber bei den Wirbelthieren erscheint der knorpelige oder knöcherne Schädel als allgemeine Regel. Bei den Fischen und Reptilien bleiben seine einzelnen Theile noch am ehesten knorplig; bei den Vögeln und Säugethieren werden diese Theile alle knöchern und aufs festeste mit einander verbunden. Die

Digitized by Google

Ausbildung des Schädels deutet also im Allgemeinen auch auf die Dignität des eingeschlossenen Gehirnes hin.

Mit den Centralorganen des Nervensystems schließen sich die Organe des Thierkörpers vollständig ab. Vor der Zusammenfassung des Ganzen ist es nöthig, die hauptsächlichen äußern Gestalten des Thierreiches dem Auge vorüberzuführen.

---

4) Die natürlichen Gruppen des Thierreiches. Das letzte Kapitel handelte von den Organen des Thierkörpers nur insofern, als sie zur Ausführung der thierischen Thätigkeiten gewisse physikalische und chemische Eigenschaften besitzen müssen. Aber zwei Organe, welche in diesen Eigenschaften übereinstimmen, müssen darum keineswegs durchaus gleich beschaffen sein. Die Kinnladen der Insekten erfüllen z. B. dieselben Zwecke, wie die Kinnladen der Wirbelthiere; aber jene bewegen sich in horizontaler, diese in senkrechter Richtung gegen einander, und die Stellung der Kinnladen im Gesammtorganismus ist bei den Insekten keineswegs dieselbe, wie bei den Wirbellosen. Die Organe beziehen sich nämlich nicht blos auf die Thätigkeit, welche sie ausführen, sondern zugleich auf die Stelle, welche sie in der Gestalt des Thieres einnehmen. Hier wirkt das gestaltende Princip so mannigfaltig ein, daß nicht selten derselbe Zweck durch Theile von verschiedener morphologischer Bedeutung ausgeführt wird. Wir dürfen hier nur auf die früheren Erörterungen über Gestalt und Thätigkeit (II. 212) hinweisen, um klar zu machen, was auch im Thierreiche unter der relativen Selbständigkeit dieser Principien verstanden wird. Hier, wie in allem Organischen, vereinigt die schöpferische Weisheit jene zwei Principien auf solche Art, daß sie das eine Mal völlig zusammentreffen, das andre Mal auseinanderweichen, aber immer zur Harmonie des Ganzen, in welchem sie wirksam sind, wieder zusammenklingen.

Die Begründung dieser Sätze ist nur möglich durch eine Uebersicht über die Gruppen des Thierreiches. Hier, wie im Pflanzenreich, herrscht die Gestalt als höchstes Eintheilungsmo-

Digitized by Google

ment. Um aber einen leitenden Gedanken in dem Labyrinthe des Thierreiches festzuhalten, dürfen wir auf die Grundsätze verweisen, welche für die Eintheilung der Pflanzen gegeben worden sind (II. 177). Auch das Thierreich bildet keine ordnungslose Masse von einzelnen Arten. Auch hier herrschen bestimmte leitende Ideen, und was bis jetzt vom natürlichen Systeme aufgestellt worden ist, kann wenigstens als ein Bruchstück von der allgemeinen Ordnung angesehen werden, welche der Schöpfer dem Thierreiche gegeben hat. Auch hier sind die Verwandtschaften der einzelnen Organismen allseitig, aber in der einen Richtung stärker als in der andern. Das System der Thiere bildet daher nicht eine einzige Reihe, sondern mehrere Reihen, welche theils parallel gehen, theils sich durchkreuzen, und in ihrer Richtung durch einzelne, herrschende Gesichtspunkte bestimmt werden. Hier, wie im Pflanzenreiche, ist jedes Individuum in seiner Weise ganz und vollkommen; aber darum lassen sich doch einzelne Bildungsstufen unterscheiden, welche mit größerer oder geringerer Vollkommenheit alle Seiten des thierischen Organismus an sich herausbilden. Vor Allem tritt das ganze Thierreich uns nicht ruhig, in seine Formen auseinandergelegt, wie das Pflanzenreich, entgegen; sondern alle Thiergestalten weisen und streben nach Einem Punkte hin, wo die menschliche Bildung die thierische berührt. Der Mensch steht auf dem Boden der organischen und zunächst der thierischen Schöpfung, und darum ist er das Maaß, nach welchem die thierischen Bildungen gemessen werden. Unsere Eintheilung der Thiere hält überall dieses Maaß im Auge.

Die Organe des Stoffwechsels und vorzüglich die Organe der Fortpflanzung nehmen im Pflanzenreiche unter allen Eintheilungsmomenten die erste Stelle ein. Im Thierreiche ist es gerade umgekehrt; hier prägen die Organe, welche den physikalischen Verkehr mit der Außenwelt vermitteln, und vornehmlich die Organe der Ortsbewegung die innere Natur der Individuen am schärfsten aus. Wie nun die Gruppe der kryptogamen Pflan-

Digitized by Google

zen durch die Abwesenheit aller Geschlechtsorgane bezeichnet ist, so fehlen der einen Abtheilung der Thiere, den Protozoen, alle besonderen Organe der Sinnesthätigkeit und äußern Bewegung, insbesondere aber alle Extremitäten. Die Bewegung geschieht durch veränderliche, ausstülpbare Fortsätze oder durch schwingende Wimper. Dieser äußeren Einfachheit entspricht eine sehr unvollkommene oder ganz fehlende innere Scheidung der Körpermasse in Gewebe und Organe. So gewähren diese Thiere das einfachste Bild von dem, was zur Bildung des thierischen Organismus überhaupt gehört. Sie halten den Typus der Zelle fest, von welchem alles Organische ausgeht, und mit ihrer Einfachheit scheint es zusammenzuhängen, daß sie, gleich den einzelnen organischen Zellen, nicht dem blosen, sondern nur dem bewaffneten Auge zugänglich sind. Die Abwesenheit der Bewegungsorgane, der Mangel der inneren Athmungswerkzeuge verweist sie in tropfbarflüssige Medien, und sie bewohnen daher theils süßes oder gesalzenes Wasser, theils die Säfte anderer, lebender oder todter Organismen.

Diesen einfachen, mikroskopischen Thierchen steht das ganze übrige Thierreich mit seiner unendlichen Mannigfaltigkeit von Gestalten und Massen gegenüber. In den Protozoen, wie in den pflanzlichen Infusorien, ist der geheimnißvolle Anfang, der erste, kürzeste Ausdruck der organischen Erscheinungen gegeben. Wie in den übrigen Thieren Extremitäten hervortreten und das Innere sich in Gewebe und Systeme scheidet, wird das thierische Leben und Treiben unsern innern und äußern Sinnen klarer und greifbarer.

An der Oberfläche der großen Mehrzahl der Thiere befinden sich Hervorragungen, welche aus mehreren Geweben zusammengesetzt sind und theils die Sinnesthätigkeit, theils noch mehr die Bewegungen der Thiere vermitteln; wir haben diese Organe wiederholt als Extremitäten bezeichnet. Im Innern aber scheiden sich vorzüglich zweierlei Organe aus, die einen, welche dem Stoffwechsel dienen, und die anderen, welche Sin-

Digitized by Google

neseindrücke aufnehmen und Bewegungen anregen. Die ersteren sind als die Organe der Verdauung, als die Drüsen und das Herz, die letzteren als das Nervensystem der Thiere geschildert worden. Je nach der Stufe der Scheidung dieser beiden Seiten des Organismus zerfallen die Thiere mit ausgebildeten Organen wieder in zwei streng unterschiedene Gruppen, in die Wirbellosen und in die Wirbelthiere. Bei jenen sind alle Centralorgane in Einer Körperhöhle beisammen; bei diesen haben die Centralorgane des Stoffwechsels und ebenso die Centralorgane des Nervensystems für sich besondere Abtheilungen der einen Körperhöhle, nämlich jene die Brust- und Bauchhöhle, diese die Schädelhöhle und den Wirbelkanal. Dazu kommt aber, daß den Wirbellosen fast durchaus nur ein äußeres, den Wirbelthieren immer ein inneres Skelet zukommt. Wir haben die Bedeutung dieses Gegensatzes schon früher erörtert, und hier mag nur daran erinnert werden, um wie viel durch die Bildung eines inneren Skeletes sowohl die Sinnesthätigkeit als die Bewegung der Thiere gewinnen. Ein Theil des innern Skeletes, nämlich die Wirbelsäule, vermittelt vorzüglich die Scheidung der beiden Körperhöhlen der Wirbelthiere. Wirbellose und Wirbelthiere stehen ursprünglich als Gruppen neben einander. Aber durch die Abtheilung der Körperhöhle und die Entwicklung des Skeletes erheben sich die Wirbelthiere über die Wirbellosen. Wir fassen zuerst die letztere, niedrigere Stufe ins Auge.

Der Kreis der Wirbelthiere ist scharf begränzt; er umfaßt die Fische, Reptilien, Vögel und Säugethiere. Viel größere Verschiedenheit erscheint im Kreise der Wirbellosen; hier herrscht noch kein fester Typus; sondern die einen schließen sich den einfachen Protozoen an; die andern leisten in der Entwicklung der Bewegungsorgane das Höchste, was diese Stufe zu leisten vermag. Die äußere Körperform bestimmt im Allgemeinen die Typen der Wirbellosen.

Die niederste Form der Wirbellosen stellen die Strahlthiere dar. Um einen Mittelpunkt herum, welcher von der

Digitized by Google

Mundöffnung oder dem Magen gebildet wird, stehen kreisförmig die innern Organe, strahlenförmig die Extremitäten. Entsprechend dieser Körperform bilden die Nervenganglien um die Mundöffnung einen Kreis, der durch Verbindungsfäden geschlossen wird. Der Körper ist entweder zugerundet, wie bei den Seeigeln, oder mit längeren Armen versehen, wie bei den Polypen, bei den Quallen, Seesternen und Seelilien. Die Masse des Körpers bleibt weich, wie bei den Quallen und manchen Polypen; oder erhält sie ein festes Skelet, wie bei der Mehrzahl der Polypen und namentlich bei den Seeigeln und den meisten übrigen Stachelhäutern. In diesem Skelet nun prägen sich ganz bestimmte Form- und Zahlengesetze aus, welche vielfach an die Gesetze der Blattstellung bei den Pflanzen erinnern. Die Zahl der Arme läßt sich bei vielen Strahlthieren auf eine ganz feste Grundzahl zurückführen. So beträgt die Zahl der Arme bei den Polypen immer 6 oder ein Mehrfaches von dieser Zahl. Auch bei den Seelilien herrscht noch bisweilen die Zahl 6; aber meist werden bei diesen Thieren, wie bei den verwandten Seesternen und Seeigeln, die Arme und die Abtheilungen des Leibes überhaupt durch die Zahl 5 bestimmt. Nach der Zahl 6 müssen auch die innern Vorsprünge gezählt werden, welche die Leibeshöhle der Polypen abtheilen und mit den Armen in nächster Beziehung stehen. Fünfseitig dagegen sind gewöhnlich die Täfelchen, welche den Stiel der Seelilien zusammensetzen. In keiner Thiergruppe wird, wie in dieser, der Aufbau des Körpers durch feste Zahlengesetze bestimmt. Die Strahlthiere haben auch den Namen der Pflanzenthiere erhalten. Sie gleichen den Pflanzen zwar keineswegs im innern Bau und in den wesentlichen Thätigkeiten; aber sie erinnern an die Pflanzen doch lebhaft durch die äußere Gruppirung ihrer Organe.

Die Körperabtheilungen, welche um die Mundöffnung der Strahlthiere herumstehen, sind nur Wiederholungen eines und desselben Typus der Bildung. Bei den Würmern findet sich eine ähnliche Wiederholung, nur in der Richtung von vorne

Digitized by Google

nach hinten; in den höheren Ordnungen wird der Körper der Würmer aus Ringen zusammengesetzt, die in linearer Ordnung auf einander folgen. Durch diese Gruppirung der Organe treten in den Würmern neue Gegensätze auf. Bei den Strahlthieren ließ der Körper nur ein Oben und Unten unterscheiden; bei den Würmern kommt hiezu ein Vorn und Hinten, und hiemit ist unmittelbar gegeben, daß nur noch ein Links und ein Rechts als entsprechende Seiten übrig bleiben. Die Würmer werden eben dadurch symmetrische Thiere. Dieser Symmetrie entspricht auch das Nervensystem. Es besteht im Wesentlichen aus zwei seitlichen Strängen, welche durch den Körper vom Kopfende bis zum Bauchende verlaufen, und von Stelle zu Stelle ganglienartig anschwellen. Der Mangel eines dominirenden Kopfes stellt die meisten Würmer auf Eine Stufe mit den Strahlthieren. Aber ihre Symmetrie weist doch schon auf eine höhere Bildung hin, und noch mehr nähern sie sich den höhern Formen durch das Uebergewicht, welches der Kopf bei einzelnen Gattungen über die übrigen Körperabschnitte erhält. Im selben Maaße erscheint der Anfang eines Hirnganglions über dem Schlunde, und die zwei seitlichen Ganglienreihen rücken an der Bauchseite nahe zusammen und werden reichlich durch Queräste verbunden. Während sich die Würmer durch diese Charaktere höheren Thiergruppen anschließen, entbehren sie auf der andern Seite die mathematische Strenge der Gestalten, welche bei den Strahlthieren an pflanzliche Bildungen erinnert. Die Skelete der Würmer sind höchst unvollkommen; sie stellen immer nur Absonderungen der Körperoberfläche dar, und erheben sich nicht über die Form von unregelmäßig gewundenen Röhren.

Strahlthiere und Würmer umfassen die niedersten Formen der ausgebildeten, mit Organen und Extremitäten versehenen Thiere. Mit dieser Stellung stimmt die geringe Entwicklung der Individualität bei diesen Thieren vollständig überein. Unter den Strahlthieren erscheinen namentlich die Polypen seltener einzeln; sondern meistens ist eine große Zahl von Indi-

Digitized by Google

viduen so verbunden, daß sie den Kanal der Leibeshöhle und das Skelet mit einander gemein haben. Die Korallen der wärmeren Meere sind die bekanntesten Beispiele solcher Kolonieen. Bei den Würmern ist diese Verbindung der Individuen seltener; aber hier finden sich vorzüglich Geschlechter, welche schmarotzend auf anderen Thieren leben. Die mannigfach gestalteten Eingeweidewürmer gehören in diese Abtheilung, und sie tragen den Charakter der Parasiten in der ausgezeichnetsten Weise an sich.

Wie die Strahlthiere und die Würmer einander gegenüber stehen, so verhalten sich auf einer höheren Stufe die Weichthiere und die Gliederthiere zu einander. Die Entwicklung der inneren Organe und der äußeren Extremitäten schreitet hier um ein Bedeutendes weiter; aber die Charaktere beider Gruppen gehen wieder so aus einander, daß bei den Weichthieren die inneren Organe, bei den Gliederthieren die Extremitäten sich überwiegend ausbilden.

Die innern Organe der Weichthiere werden von einem muskulösen, beutelförmigen Mantel eingeschlossen, welcher sich an einer, seltener an zwei Stellen nach außen öffnet. Aus der Mündung dieses Mantels ragen bei vielen dieser Thiere arm- und fußartige Organe für die Bewegung oder Anheftung des Körpers hervor. Aber im Allgemeinen kommt diesen Thieren eine geringe Beweglichkeit zu; viele von ihnen sind auf dem Grunde der Gewässer festgewachsen. Die Anordnung des Nervensystemes entspricht auch hier vollkommen der äußern Gestalt des Körpers. Die Hauptganglien liegen weder in Kreisen, noch in Längsreihen, sondern zerstreut in der Nähe der wichtigsten Körperorgane, z. B. des Auges, des Mantels und der Extremitäten. Aber nur die niedersten Weichthiere, wie die Salpen und die Thiere der zweischaligen Muscheln, bleiben bei diesen einfachsten Verhältnissen stehen. Die Schnecken und die höchsten Thiere dieser Gruppe, die Sepien oder Kopffüßer, zeigen nicht blos eine auffallende Symmetrie ihrer Organe; sondern es unterscheidet sich auch von ihrem übrigen Körper ein

Digitized by Google

deutlicher Kopf, welcher ein großes, bei den Sepien sehr entwickeltes Gehirn einschließt, und an seiner Oberfläche die Organe des Gesichtes und des Gehöres trägt. Auch das Skelet der Weichthiere ist der rings geschlossenen Form ihres Körpers angemessen. Es nimmt an der Bildung der Extremitäten gar keinen Antheil, sondern tritt nur als Produkt des Mantels, als eine feste Hülle des Rumpfes auf.

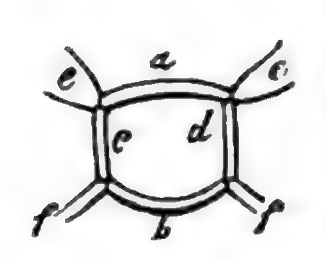
Im Allgemeinen werden die Theile dieses Skeletes als Schalen beschrieben. Ihre Formen erinnern durch Reichthum und Regelmäßigkeit an die äußeren Skelete der Polypen. Die zweischaligen Muscheln, welche durchaus von kopflosen Thieren gebildet werden, zeigen zweierlei Arten von Symmetrie, das eine Mal, wie bei den Perlenmuscheln, ist die eine Schale der andern gleich; das andere Mal, wie bei den Terebrateln, sind beide Schalen verschieden, aber jede einzelne läßt sich in zwei gleiche Hälften theilen. Die einfachen Schalen der Schnecken bilden nicht mehr blos flache Gewölbe; sondern sie treten als schraubenförmig gewundene Gänge aus der Ebene heraus. Bei den Sepien endlich wohnt das Thier gleichfalls in einer einfachen, gewundenen Schale; aber diese nimmt an der Symmetrie des Thieres dadurch Antheil, daß ihre Windungen alle in Einer Ebene liegen.

Wir haben endlich noch einen Punkt zu erwähnen, welcher die niedersten Weichthiere auffallend den Polypen nähert; die Seescheiden sind zu Kolonien verbunden, in welchen jedes Thier für die Zwecke des Ganzen einen Theil seiner eigenen Individualität aufgiebt. Auf der andern Seite aber weisen die höchsten unter den Weichthieren, die Kopffüßer, durch die Ausbildung ihrer Sinnesorgane und durch Spuren von einem inneren Skelet sogar auf die Wirbelthiere hin.

Wenn die Ausbildung der Bewegungs- und der Sinnesorgane vorzüglich die Höhe der Entwicklung eines Thieres überhaupt bezeichnet, so stehen die Gliederthiere, d. h. die Krebse, Spinnen und Insekten, entschieden über den Weichthieren.

Digitized by Google

Die Bewegungsorgane der Krebse sind zum Schwimmen, die Bewegungsorgane der Spinnen zum Schreiten besonders eingerichtet. Bei den Insekten herrscht im Allgemeinen das Schreiten vor; aber außerdem sind einzelne für das Schwimmen und viele für das Fliegen organisirt. Hier zerfallen zum ersten Mal die Extremitäten in scharfbegränzte Glieder, welche durch Gelenke unter einander verbunden sind, und diese bestimmte Gliederung erstreckt sich nicht blos auf die Extremitäten, sondern auch auf den Rumpf der Gliederthiere; sie findet zugleich ihren Ausdruck und ihre feste Grundlage in dem äußeren Skelete jener Thiere. Im Allgemeinen besteht nämlich der Körper jedes Gliederthieres aus einer größern oder geringern Anzahl von geschlossenen Ringen, die in der Richtung von vorn nach hinten auf einander folgen. Jeder dieser Ringe läßt vier Abtheilungen, eine obere (a), eine untere (b) und zwei seitliche (c, d) an sich unterscheiden. Die Gliederthiere schließen sich durch diese Zusammensetzung aus Ringen ganz an die höheren Würmer an; aber die Gliederung ihrer Extremitäten giebt ihnen eine entschieden höhere Stellung. Zwischen der seitlichen und der unteren Abtheilung eines Körperringes (f, f) befestigen sich bei den Gliederthieren diejenigen Extremitäten, welche theils zum Schreiten, theils zum Schwimmen, theils zum Ergreifen und Betasten der Beute dienen. Zwischen den seitlichen und der oberen Abtheilung (e, e) dagegen sind die Flugorgane eingelenkt, welche indeß nur in der Klasse der Insekten vorkommen.



Zu dieser reichen Gliederung des Rumpfes und der Extremitäten kommt noch eine deutliche Abtheilung des Körpers in mehrere, hinter einander liegende Regionen, in **Kopf**, **Brust** und **Bauch**. Bei den Krebsen und Spinnen sind die beiden ersten noch nicht streng von einander geschieden; bei den Insekten dagegen erreicht diese Scheidung ihren höchsten Grad, und die Dreitheiligkeit des ganzen Körpers wiederholt sich noch ein

Digitized by Google

Mal in den drei Ringen, aus welchen immer die Brust zusammengesetzt ist. Jede Körperregion steht in einer besonderen Beziehung zu der Bewegung des Thieres. Dem Bauche, welcher die hauptsächlichen Eingeweide einschließt, fehlen alle Extremitäten sowohl bei den Spinnen als bei den Insekten. Dagegen trägt der Bauch der Krebse sogenannte falsche Füße von verschiedenartiger Form. Die wichtigsten Extremitäten befestigen sich natürlich an der Brust der Gliederthiere, weil in diese Region der Schwerpunkt des ganzen Körpers fällt. Hier finden sich nicht blos die Füße der Krebse, Spinnen und Insekten, sondern auch die Flügel der letztgenannten Thiere. Am Kopfe endlich verwandeln sich die Extremitäten in lauter solche Organe, die der eigenthümlichen Bedeutung der vordersten Körperregion angemessen sind. Hier werden sie zu Kinnladen, welche die Nahrung fassen, zerkleinern oder aufsaugen, hier zu Tastern und Fühlern, welche zur Aufnahme von Sinneseindrücken dienen. Es braucht nur kurz bemerkt zu werden, daß im ganzen Körper der Gliederthiere, noch mehr als in dem der Würmer, eine vollständige Symmetrie herrscht. Alle Extremitäten sind paarig, und auch die Kinnladen bewegen sich als paarige Extremitäten von den Seiten gegen einander. Dieser Symmetrie und der ganzen Gliederung des Körpers entspricht die Anordnung des Nervensystems aufs vollkommenste. Dieses besteht wesentlich aus zwei seitlichen Strängen, die aber so nahe zusammenrücken, daß ihre Ganglien auf den ersten Blick als unpaar erscheinen. Der Doppelstrang des Nervensystemes verläuft zum größten Theile an der Bauchseite der Gliederthiere; nur an seinem vordern Ende steht er mit einem Hirnknoten in Verbindung, welcher über dem Schlunde liegt und zu einer größeren oder kleinern Masse anschwillt.

Wenn die Weichthiere in ihren Schalen bestimmte geometrische Formen erkennen lassen, so zeichnen sich die Gliederthiere durch die festen Zahlen aus, welche in einzelnen Gruppen theils die Abtheilungen des Rumpfes, theils die Glieder der Extre-

Digitized by Google

mitäten beherrschen. Dieses erinnert an die Zahlengesetze im Baue der Strahlthiere. Aber in Bezug auf die Lebensweise schließen sich manche Gliederthiere höchst auffallend an die niederen Würmer an. Die Schmarotzerkrebse und die Milben unter den spinnenartigen Thieren leben in den Organen und von den Säften anderer Thiere. Auch unter den Insekten fehlt es nicht an ungeflügelten oder schwachflügligen Gattungen, welche die Säfte anderer Thiere zu ihrer Nahrung verwenden. Blickt man von den Gliederthieren überhaupt auf den ganzen, weitgespannten Kreis der wirbellosen Thiere zurück, so berühren sich die vier Gruppen dieses Kreises in mannigfacher Weise. Als eine niedrigere Stufe erscheinen die Strahlthiere und Würmer, als eine höhere die Weichthiere und Gliederthiere; aber die Weichthiere weisen wieder mehr auf die Strahlthiere, die Gliederthiere auf die Würmer zurück. Auf jeder Stufe steht wieder die eine Gruppe etwas höher, auf der ersten die Würmer, auf der zweiten die Gliederthiere. So durchkreuzen sich die Beziehungen der einzelnen Gruppen mannigfaltig; und was in den Hauptgruppen beobachtet wird, das wiederholt sich ebenfalls in den Unterabtheilungen. Nur durch Erwägung aller dieser Rücksichten kann die Stellung eines Thieres oder einer Thierfamilie richtig gefunden werden. Faßt man aber alle Beziehungen zusammen, so erreicht der Typus der wirbellosen Thiere in den Insekten seine höchste Vollendung.

Die Kluft zwischen den Wirbellosen und den Wirbelthieren wird durch keine Uebergangsformen ausgefüllt. Selbst der niedrigste Fisch, der alle Organe des Wirbelthierkörpers in der einfachsten Form darbietet, nämlich das Lanzettfischchen des Mittelmeeres und der Nordsee, entbehrt doch nicht die Anlage einer Wirbelsäule. Diese, die Axe des Wirbelthierskeletes überhaupt, ist es, um welche sich der ganze Wirbelthierkörper ordnet und bewegt.

Die Wirbelsäule besteht immer aus einer größern oder geringeren Anzahl von einzelnen Wirbeln, die in linearer Rich-

Digitized by Google

tung an einander gereiht sind. Hier, in der Centralaxe des Wirbelthierkörpers, wiederholt sich die Gliederung, welche den Hauptcharakter der äußeren Körperringe der Gliederthiere ausmacht. An jedem Wirbel müssen wieder mehrere Theile unterschieden werden. Den Mittelpunkt bildet immer der Wirbelkörper (a), welcher einen niederen Cylinder darstellt; indem diese Cylinder sich mit ihren Endflächen an einander anschließen, wird die zusammenhängende Säule der Wirbel hergestellt. Von jedem Körper gehen zwei Paare von Fortsätzen aus, das eine nach oben, das andere nach unten. Die oberen Fortsätze (b, b) vereinigen sich immer zu einem geschlossenen Bogen, zum oberen Wirbelbogen; die unteren (c, c) bleiben häufiger unverbunden und werden meist als Rippen beschrieben. Diese Bogentheile der Wirbel dienen zur Umschließung der inneren Organe; aber sie entsprechen ganz den zwei Abtheilungen, in welche die Leibeshöhle der Wirbelthiere zerfällt; die oberen Bogentheile umschließen den Centraltheil des Nervensystems, die unteren dagegen die Hauptorgane des Stoffwechsels. Die Anordnung der Wirbelkörper und ihrer Fortsätze entspricht daher bei den Wirbelthieren ganz der Lagerung der inneren Organe. Außerdem aber verändern sich die Wirbel je nach der Körperregion, welcher sie angehören, und von welcher sie die Grundlage bilden. Die Körperregionen werden vorzüglich durch die Abtheilungen der unteren Körperhöhle bestimmt.

In dieser unterscheidet man einen sehr überwiegenden, mittleren Theil, welcher das Herz, die Lungen, den Magen und die Gedärme, die Leber und die übrigen größeren Drüsen in sich schließt. Diese mittlere Abtheilung zerfällt bei den Säugethieren wieder in die Brusthöhle mit den Organen der Athmung und des Kreislaufes, und in die Bauchhöhle mit den Organen der Verdauung und Absonderung; aber bei den Vögeln, Reptilien und Fischen ist diese Trennung nur angedeutet oder gar nicht vorhanden. Vor der Brusthöhle liegt noch immer

Digitized by Google

das Gesicht, welches die Anfänge der Athmungs- und Verdauungsorgane in sich schließt; hinter der Bauchhöhle folgt immer noch der Schwanz, der an seiner unteren Fläche nur große Gefäßstämme beherbergt. Aber außerdem tritt sehr häufig als Mittelglied zwischen Kopf und Brust der Hals und ebenso zwischen Bauch und Schwanz die Kreuzgegend ein. So zerfällt die Wirbelsäule bei den höheren Wirbelthieren in sechs Regionen, in Kopf, Hals, Brust, Bauch, Kreuz und Schwanz. Die Rippen erhalten ihre höchste Ausbildung in den zwei mittleren Körperregionen. Hier dienen sie den weichen Eingeweiden als schützende Umhüllung; aber von besonderer Bedeutung werden sie in der Brustgegend derjenigen Wirbelthiere, welche durch Lungen athmen (II. 335). Bei den Reptilien, bei den Vögeln und Säugethieren vermitteln die großen Rippen der Brustgegend vorzüglich das Einathmen; indem diese Rippen durch starke Muskel gehoben und nach außen gezogen werden, erweitern sie den Brustraum, und die äußere Luft stürzt nun durch die Luftröhre in die Höhlenräume der Lungen. Eine andere Bedeutung erhalten die Rippen, welche die Unterlage des Gesichtes darstellen; sie bilden meist zwei geschlossene Bögen, die obere und die untere Kinnlade, welche nicht in horizontaler, sondern in senkrechter Richtung bewegt werden. In den Regionen des Halses, des Kreuzes und des Schwanzes bleiben die Rippen sehr wenig entwickelt; gegen das Schwanzende hin verschwinden sie vollständig.

Während die Ausbildung der unteren Bögen der Wirbelsäule mehr in die Mitte des Körpers fällt, zeigen die oberen Wirbelbögen eine fortschreitende Entwicklung von hinten nach vorn. Diejenige Körperregion, welche in der untern Leibeshöhle zum Gesichte wird, treibt sich an der obern Seite zu einer Kapsel auf, welche den wichtigsten Theil des Centralnervensystemes, das Gehirn, einschließt. Hier, am Schädel der Wirbelthiere, treten die Wirbelkörper am meisten zurück; die Bogenstücke bilden über der verkürzten Axe ein weites Gewölbe. Es scheint,

Digitized by Google

daß drei Wirbel an der Bildung des Schädels Theil nehmen; aber es ist schwer, die einzelnen sogleich zu erkennen, weil sowohl ihre Körper als ihre oberen Bögen fest unter einander verschmolzen sind. Diese Verschmelzung ist eben nothwendig, um dem Gehirn den gehörigen Schutz zu geben. Doch unterscheidet man am Schädeldache deutlich die Abtheilung in die drei Gegenden der Stirn, des Scheitels und des Hinterhauptes, und diese Gegenden scheinen drei Schädelwirbeln zu entsprechen. Die Wirbelbögen, welche hinter dem Schädel folgen, sind dem geringeren Volumen des Rückenmarkes angemessen und ebendarum viel niedriger gewölbt; außerdem lassen sie meist eine beschränkte Bewegung der Wirbelsäule zu. Erst in der Schwanzgegend verlieren sich die oberen Wirbelbögen gleich den unteren; an der Schwanzwirbelsäule liegt kein Rückenmark mehr, und so wird das Schwanzende hauptsächlich von Wirbelkörpern gebildet, deren Gelenke ausgedehnte Bewegungen zulassen. Dem Kopfe steht der Schwanz geradezu gegenüber, jener sehr fest, mit verkürzter Axe und sehr entwickelten oberen Bögen, dieser sehr beweglich, mit sehr verkümmerten, oberen und unteren Bögen und allein zurückbleibender Axe. Wir werden die Bedeutung dieses Gegensatzes beim Menschen näher begründen.

Die Muskel, welche die Wirbel und ihre Fortsätze bewegen, liegen nach außen von den bisher beschriebenen Theilen des Skelets. In den kriechenden Schlangen bleibt es nur bei diesen Skelettheilen, und die Muskel vermitteln die Lokomotion eben durch Bewegung der Wirbelsäule und ihrer Bögen. Aber in der großen Mehrzahl der Wirbelthiere sind der umhüllenden Muskelschichte noch weitere Knochen eingelagert, welche die Grundlage der Extremitäten bilden. Diese Knochen können nicht auf den Wirbeltypus zurückgeführt werden; sie haben ihre eigenthümliche Bedeutung als das Skelet der äußeren Anhänge des Körpers. Die höchste und gewöhnliche Zahl der Extremitäten ist bei allen Wirbelthieren vier, d. h. ein vorderes und ein hinteres Paar. An jedem Paare müssen wieder zwei Theile

Digitized by Google

unterschieden werden, nämlich der Gürtel und die äußere Extremität. Jener umschließt das innere Skelet und ist theils nur in den Muskeln, theils an den Fortsätzen der Wirbel befestigt; vorn wird er als Schulter, hinten als Becken beschrieben. Die äußere Extremität ist an diesem Gürtel eingelenkt; und zwar besteht eine jede Extremität wesentlich aus drei Gliedern. Das erste, vorn der Oberarm, hinten der Oberschenkel genannt, zeigt nur Einen langen Knochen; aber schon im zweiten Gliede, im Vorderarm und im Unterschenkel, liegen zwei lange Knochen neben einander, vorn die Speiche und das Ellenbogenbein, hinten das Schienbein und das Wadenbein.

Im dritten Gliede endlich, im Fuße, sind fünf Knochenreihen neben einander gelagert; indeß zerfällt dieses Glied selbst wieder in drei Abtheilungen, in die kurze, wenig bewegliche Fußwurzel, in den längeren Mittelfuß und in die Zehen, welche an Beweglichkeit die erste Stelle einnehmen. So gehen von dem Einen Punkte, an welchem die Extremitäten sich mit ihren Gürteln verbinden, die Knochen der Extremitäten strahlenförmig aus. Die Zahlen 1, 2, 5, welche die Stufenfolge der Theilung bezeichnen, wiederholen sich mit größerer oder geringerer Regelmäßigkeit bei den Reptilien, Vögeln und Säugethieren. Jedenfalls aber steht diese schrittweise Vermehrung der Knochen in Zusammenhang mit den mannigfaltigen äußeren Beziehungen, welchen sich die Extremitäten zuwenden. Der Gegensatz zwischen dem einheitlichen Principe der Organismen und der Vielheit ihrer Umgebung ist in den beiden Enden der Wirbelthierextremitäten sichtbar ausgeprägt. Und zu dieser morphologischen Bedeutung gesellt sich noch die Zweckmäßigkeit einer größeren Zahl von Zehen für die Mannigfaltigkeit der Bewegungen, welche der Fuß oder die Hand der Wirbelthiere auszuführen hat.

Mit dieser Schilderung des Wirbelthierskeletes ist eigentlich der ganze Körperbau der Wirbelthiere beschrieben; so sehr entspricht bei diesen höchsten Thieren die knöcherne Unterlage der

Digitized by Google

ganzen Gestalt, und so sehr wird in den Wirbelthieren auch unter wechselnden Verhältnissen der Eine Grundtypus der Bildung bewahrt. Die Symmetrie des Körpers, die Gliederung des Skeletes an Rumpf und Extremitäten theilen die Wirbelthiere mit den Gliederthieren. Aber sie stehen weit über diesen durch die Abtheilung ihrer Leibeshöhle, durch ihr inneres Skelet, durch das bedeutende Uebergewicht ihres Gehirns und durch die völlige Verschmelzung der centralen Ganglien zu Einem Strang, welcher mit dem Hirn beginnt und sich im Rückenmarke fortsetzt. Die Funktionen, welche in den Bereich des Nervensystemes fallen, werden bei den Wirbelthieren nach außen freier, nach innen concentrirter.

Die vier Gruppen der Wirbelthiere, die Fische, Reptilien, Vögel und Säugethiere, werden vorzüglich durch ihre verschiedenen Lokomotionsweisen, durch Schwimmen, Kriechen, Fliegen und Schreiten bezeichnet. Wir haben diese verschiedenen Formen der Ortsbewegung schon früher abgehandelt, und es sei hier nur hinzugefügt, daß für keine dieser Lokomotionsweisen neue Organe nöthig werden, sondern daß derselbe Rumpf und dieselben Extremitäten das Schwimmen, wie das Kriechen, das Schreiten, wie das Fliegen vermitteln. Nur verkürzen oder verlieren sich die Extremitäten bei den zwei ersten Weisen; sie werden länger bei den letzteren, und die flächenartige Ausbreitung, welche die Flugorgane bedürfen, wird bei den Fledermäusen durch eine Haut hervorgebracht, die sich zwischen den sehr verlängerten Zehen der Vorderextremität ausspannt; bei den Vögeln aber entsteht sie durch die Federn, welche sich an den Knochen der Vorderextremitäten befestigen. Bestimmt man die Aufeinanderfolge der Wirbelthiere nach den Lokomotionsweisen, d. h. nach der Ausbildung der Extremitäten, so kommen zu unterst die schwimmenden Fische, dann die kriechenden und schreitenden Reptilien, weiterhin die schreitenden Säugethiere, endlich die fliegenden Vögel. Aber diejenigen Organe, welche in die eigentlichen thierischen Funktionen den tiefsten Blick ge-

währen, die Centralorgane des Nervensystemes, begründen eine andere Stufenfolge. Die Masse des Gehirnes und im Gehirn selbst wieder die Masse des Vorderhirnes ist, verglichen mit dem übrigen Nervensysteme, bei den Fischen am geringsten; sie nimmt zu bei den Reptilien; sie wird noch größer bei den Vögeln; ihre höchste Ausbildung gewinnt sie bei den Säugethieren. Aus der Entwicklung des Gehirns und vorzüglich des Vorderhirns darf man auf die Ausbildung der höchsten Thätigkeiten, des Bewußtseins und der Intelligenz der Thiere schließen. Daher gibt jenes Organ für die Stufenfolge der Wirbelthiere auch den besten Anhaltspunkt; mit den Fischen muß die Reihe begonnen und durch die Reptilien und Vögel bis zu den Säugethieren aufgestiegen werden.

Die Protozoen stehen zugleich den Wirbelthieren und den Wirbellosen als die eine Hälfte des Thierreichs gegenüber, in welcher die äußern und innern Gegensätze des thierischen Organismus erst angedeutet sind. In den verschiedenen Gruppen der Wirbellosen und Wirbelthiere prägen sich diese Gegensätze immer deutlicher und schärfer aus. Jede Seite der thierischen Thätigkeit erhält immer mehr ihr besonderes Organ; so vervielfältigen sich also die Organe des Thierkörpers. Aber zugleich befestigen sich die Grundzüge der thierischen Gestalt, und eine neue Seite der Thätigkeit wird nicht mehr durch ein neues Organ, sondern durch die Umwandlung eines vorhandenen Organes möglich gemacht. Jene Grundzüge gewinnen mit ihrer Befestigung auch an Elasticität, und das gestaltende Princip vermag durch Concentration seiner Mittel Größeres zu leisten. Wir haben diesen Gegensatz der Mannigfaltigkeit und der Oekonomie schon bei der Pflanze erörtert (II. 205). Bei der Schilderung der Organe hat sich öfters Gelegenheit dargeboten zu zeigen, wie das Thier, wie das einzelne Organ um so höher steht, je mehr es die größte Mannigfaltigkeit der Funktionen mit der geringsten Veränderung des Typus der Gestalten zu vereinigen vermag. Zuletzt ist hervorgehoben worden, daß diese

Digitized by Google

Fixirung des Typus bei den Wirbelthieren ihre höchste Stufe erreicht. Unter den Wirbelthieren nehmen wieder die Säugethiere die erste Stelle ein. Diese zunehmende Fixirung der Gestalten bringt es auch mit sich, daß die einzelnen Entwicklungsstufen in den niedersten Thieren durch die größten, in den höchsten durch die geringsten Umwandlungen der äußeren Form bezeichnet sind. Die Polypen und noch viel mehr die Eingeweidewürmer nehmen in verschiedenen Stadien ihres Lebens höchst verschiedene Gestalten an. Unter den Gliederthieren sind die höheren Insekten, die Schmetterlinge, durch ihre bedeutenden Metamorphosen am meisten bekannt. Im Kreise der Wirbelthiere aber gehen nur noch die froschartigen Reptilien durch größere Metamorphosen durch. Bei den Vögeln und Säugethieren endlich sind die Umwandlungen zwischen Geburt und Tod unbedeutend.

Wenn sich das Thierreich wirklich am besten so ordnet, daß auf die Protozoen zuerst die Polypen und Würmer, dann die Weichthiere und Insekten, endlich die Fische und Reptilien, die Vögel und Säugethiere folgen, so fragt es sich: hält das Thierreich diese Ordnung auch in seinen versteinerten Resten fest? ist es auch in der angegebenen Ordnung geschaffen worden? Diese Frage kann nicht bejaht werden; die geologische Aufeinanderfolge der Thiere ist eine eigenthümliche gewesen. Wir haben bei der Schilderung der Pflanze gezeigt, daß die beiden Hauptgruppen des Pflanzenreiches, die Kryptogamen und die Phanerogamen, nicht nach einander, sondern zugleich in den tiefsten Schichten der Erdrinde auftreten. Ebenso verhält sich auch das Thierreich. Seine einzelnen Haupttypen haben schon in den ältesten Perioden der Erdbildung neben einander existirt. Im silurischen Systeme finden sich Reste von Protozoen, von Strahlthieren, Würmern, Weichthieren, Gliederthieren und Wirbelthieren. Aber die einzelnen Thiergruppen, durch welche diese Typen in den silurischen und in den späteren Schichten reprä-

Digitized by Google

sentirt werden, sind für die einzelnen Perioden der Erdbildung sehr charakteristisch.

Der erste Gesichtspunkt, welcher für diese Veränderung der Thierformen in Betracht kommt, ist bei der Schilderung der geologischen Epochen der Erde schon hervorgehoben worden (I. 451). Dem anfänglichen Uebergewichte der Gewässer entsprach im Kreise der Wirbelthiere die besondere Ausbildung der Fische. In der zweiten Periode, wo größere Continente sich zu bilden begannen, entwickelten sich vorzüglich die Reptilien mit den schreitenden Cheirotherien und Iguanodonten, mit den krokodilartigen Teleosauren, mit den schwimmenden Ichthyosauren und Plesiosauren und mit den fliegenden Pterodaktylen. In der dritten, tertiären Zeit endlich hielt das Auftreten der Vögel und Säugethiere mit der Befestigung der Continente gleichen Schritt. Aber neben diesem geognostischen Principe läßt sich für die Veränderung der Thierformen noch ein zweites, mehr organisches auffinden. Mit jeder neu auftretenden Form werden die Typen freier von der Unterwerfung unter die Herrschaft des Planetarischen, auf welchem das Organische überhaupt ruht. Klassen, welche freie und festgewachsene Gattungen in sich schließen, werden in den älteren Formationen vorzüglich durch festgewachsene Gattungen repräsentirt; so überwiegen bei den Stachelhäutern im silurischen System und im Kohlengebirge sehr bedeutend die Crinoideen, welche gleich den Seelilien der jetzigen Schöpfung durch Stiele auf dem Meeresgrunde befestigt sind. Außerdem behauptet das Planetarische sein Uebergewicht auch durch das Hervortreten der äußeren Skelete in den Thieren der ältesten Formationen. Dieses Gesetz bewährt sich vorzüglich bei den Fischen; in der ältesten Zeit erscheinen nur Fische mit knorpligem oder unvollkommen knöchernem innerem Skelet, aber mit starken Knochenplatten in der äußeren Haut; erst in der Kreide treten eigentliche Knochenfische mit gewöhnlichen, runden Schuppen auf.

Die beiden Gesichtspunkte, welche wir so eben berührt haben, beziehen sich auf den Zusammenhang der Thiere mit der

Digitized by Google

umgebenden, planetarischen Schöpfung; der erste umfaßt die mehr begreiflichen Beziehungen der Thiere zu ihren Wohnorten; der zweite betrifft das Gesetz der fortschreitenden Befreiung des Thierkörpers von den Normen der planetarischen Welt. Wir weisen hier nur kurz auf den Menschen hin, welcher am Ende der tertiären, am Anfange der jetzigen Periode geschaffen wurde und auf eine ganz andere Weise, als irgend ein Thier, sich über das Planetarische erhebt. Mit dieser Erwähnung des Menschen treten wir aber in die jetzige Ordnung der Dinge ein, und die Frage ist natürlich: wie verhält sich die jetzige Vertheilung der Thiere zu der jetzigen Gestalt der Erdoberfläche?

Wenn man die Vertheilung der Thierspecies an der jetzigen Erdoberfläche überhaupt ins Auge faßt, so ergiebt sich dasselbe Resultat, wie bei den Pflanzen (II. 189); die Zahl der Species nimmt zu, je mehr man von den Polen aus sich dem Aequator nähert; sie wächst entsprechend der Zunahme der Temperatur. Mit der höheren Temperatur verändern sich aber auch andere Charaktere des Thierkörpers. In den heißen Gegenden erscheinen Thiere von den schönsten Farben, von den seltsamsten Formen, von der größten Körpermasse. Hier, in der warmen Zone treten überdieß diejenigen Thiere auf, welche als die höchsten ihrer Typen betrachtet werden müssen; hier erscheinen unter den Reptilien die Krokodile und Schildkröten, unter den Vögeln die Papageien, unter den Säugethieren die Affen. Diese höheren Thierformen scheinen vornehmlich einer Steigerung ihres Lebensprocesses durch äußere Wärme zu bedürfen. Aber von höherer Bedeutung, als dieser Zusammenhang der Thierformen mit der Höhe der Temperatur, mit den klimatischen Unterschieden überhaupt, ist die Beziehung der verschiedenen Thierspecies zu den einzelnen Hauptcontinenten der Erde. Wir haben schon früher gezeigt (I. 313), daß die Eigenthümlichkeit dieser Continente sich auf eine wunderbare Weise auch in den Organismen jedes Continentes ausprägt, daß die Continente theils eigene Species, theils eigene Familien für sich haben. Ueberdieß aber

Digitized by Google

tritt bei der Vertheilung der Thiere eine auffallende Uebereinstimmung mit dem allgemeinen Bilde hervor, welches wir früher von der Erdoberfläche gegeben haben (I. 299 ff.).

Asien und Afrika, die entwickeltsten Continentalmassen der Erde, beherbergen auch die höchsten Thierformen. Hier finden sich insbesondere die höchsten Säugethiere und Vögel, der Orang und der Schimpanse, der Löwe und der Tiger, der Elephant und das Kameel, die kräftigsten Raubvögel, wie der stark schreitende Strauß. Tiefer steht Amerika, der langgestreckte, eines erhobenen Mittelpunktes entbehrende Continent. Seine Thiere sind im Allgemeinen an Masse geringer; insbesondere fehlen ihm große Dickhäuter, wie der Elephant und das Pferd; dagegen erreichen hier die zahnarmen Thiere, wie das Faulthier und das Gürtelthier, ihre höchste Entwicklung. Australien endlich, welches über den Inseltypus sich nirgends erhebt, steht in Bezug auf seine Thierwelt am tiefsten. Hier fehlen alle großen und kräftigen Säugethiere der übrigen Continente; schwächliche Beutelthiere, wie das Känguruh, seltsame Monotremen, wie das Schnabelthier, bevölkern die kleinen Festländer. Alle diese Säugethiere zeichnen sich durch unvollkommene Fortpflanzungsorgane aus. Was aber die Vögel betrifft, so kommen hier Geschlechter vor, welche, wie der Apteryx, die völlige Verkümmerung der Flügel mit einer großen Schwäche der Bewegungsorgane überhaupt verbinden.

Es erhellt aus diesen Erörterungen, daß die verschiedene Organisation der Thiere zwar aus klimatischen, geographischen oder geologischen Eigenthümlichkeiten des Wohnortes sich nicht geradezu ableiten läßt, daß aber doch zwischen den Thierformen und ihren Wohnorten eine bestimmte Harmonie besteht. Wir sind zu dieser Harmonie durch mannigfache Stufen aufgestiegen; den Anfang bildete die Uebereinstimmung der thierischen Thätigkeiten unter einander; dann folgte der Einklang zwischen den Thätigkeiten und dem Bau der Gewebe und Organe, weiter die harmonische Verbindung der Organe zu besonderen Thier-

Digitized by Google

gestalten, und den Schluß und Gipfel bildet jetzt die innige Beziehung der thierischen Thätigkeit und Gestalt zu der umgebenden planetarischen Schöpfung. Vieles ist hier noch mangelhaft; aber was wir beigebracht haben, reicht hin, um die Uebersicht über diesen ganzen weitschichtigen Abschnitt zu begründen. Was an so vielen Punkten dieses Abschnittes von dem Wirken der höchsten Weisheit gesagt worden ist, das soll am Schlusse noch einmal in einzelne, kurze Sätze zusammengefaßt werden.

Uebersicht.

Das Thier theilt mit allen Individuen, mit den Gestirnen sowohl als mit der Pflanze, die Harmonie seiner inneren Vorgänge. Es ist hier unnöthig, noch einmal darauf zurückzukommen, wie alle Processe des Stoffwechsels, alle inneren und äußeren Bewegungen des Thieres harmonisch zum Leben jedes Individuums zusammenstimmen. Auch beim Thiere ist der ursprüngliche Keim des Individuums kein einfacher; sondern schon in die ersten Anfänge desselben sind mit der Verschiedenartigkeit der zusammensetzenden Theile auch die Differenzen gelegt, welche nachher die chemischen und physikalischen Processe im Thierkörper bedingen. Der Grund der Harmonie der inneren Vorgänge liegt also hier, wie beim Planeten und bei der Pflanze, jenseits und vor dem Bestehen jedes Individuums, in der Weisheit des schaffenden und erhaltenden Gottes. Im Bereiche des Individuums selbst erscheint die Harmonie nur als das Resultat des Zusammenwirkens verschiedenartiger Thätigkeiten.

Während im Planeten die Gestalt nur als eine nothwendige Folge der inneren und äußeren Vorgänge sich darstellt, erhält sie im Organischen ihr eigenthümliches, nach eigenen Gesetzen wirkendes Princip (II. 66 ff.). Wir haben schon bei der Pflanze Beweise beigebracht, daß wirklich Gestalt und Thätigkeit sich nicht, wie die beiden Seiten einer Gleichung, wie con-

Digitized by Google

gruente Figuren, gegenseitig decken. In den Gegensätzen von Wurzel und oberirdischer Pflanze, von Stengel und Blatt, von Vegetationsorganen und Blüthenorganen waren diese Beweise gegeben (II. 208). Aber auch der thierische Organismus bietet für diese relative Selbständigkeit von Thätigkeit und Gestalt Beispiele in Menge. Wir heben nur einzelne aus der großen Zahl hervor, welche in den speciellen Erörterungen dieses Abschnittes vorliegt. Der erste Fall ist der, wo Gestalt und Thätigkeit zusammenstimmen, wo eine Funktion immer durch ein Organ von derselben morphologischen Bedeutung ausgeführt wird. So verhält es sich mit den Centralorganen des Kreislaufes und des Nervensystemes; wo ein Herz, wo ein Gehirn besteht, dort dienen diese Organe nie zu etwas Anderem, als zur Bewegung des Blutes oder zur centralen Verbindung zwischen den Sinneseindrücken und willkührlichen Bewegungen. Der zweite Fall besteht in der Ausführung Einer Thätigkeit durch Organe, die morphologisch verschieden sind. Die Lokomotion der Wirbelthiere wird das eine Mal blos durch den Rumpf, das andre Mal durch Extremitäten vermittelt, und in einigen Thieren erscheint das Ende des Rumpfes wenigstens als Hilfsorgan für das Hüpfen oder Klettern, welches durch die Extremitäten ausgeführt wird. Das Ergreifen der Nahrungsmittel geschieht am Eingange der Mundhöhle immer durch Kinnladen; aber diese Kinnladen stellen bei den Gliederthieren Extremitäten, bei den Wirbelthieren rippenartige Bildungen dar.

Im dritten Falle endlich wird Ein Organ von bestimmter morphologischer Bedeutung zu verschiedenen Funktionen verwendet. Die Nase stellt im Wesentlichen nur den Eingang in die Athmungsorgane dar; beim Elephanten wird sie zum Greiforgan. Die Zunge kehrt als ein bewegliches und nervenreiches Gebilde am vordern Eingange des Nahrungskanales ihre Thätigkeit theils nach innen, theils nach außen; sie bewegt, betastet, schmeckt die Nahrungsmittel innerhalb der Mundhöhle, oder sie dient auch außerhalb der Mundhöhle als Tastorgan,

Digitized by Google

wie bei den Schlangen, als Greiforgan, wie beim Chamäleon und beim Spechte. Das ausgezeichnetste Beispiel für diese funktionelle Verschiedenheit morphologisch gleicher Organe bietet die Lunge der Wirbelthiere dar. In morphologischer Beziehung muß diese Lunge geschildert werden als ein lufterfüllter, verschiedenartig abgetheilter Sack, welcher mit dem hinteren Ende der Mundhöhle zusammenhängt und in der Brusthöhle oder in der ungetheilten großen Leibeshöhle der Wirbelthiere liegt. In der großen Mehrzahl der Fälle dient dieser Sack als Athmungsorgan, und dann bleibt natürlich seine Communikation mit der Mundhöhle offen, um der Luft Aus- und Eintritt zu gestatten; so verhält sich die Lunge bei den Säugethieren, Vögeln und Reptilien. Aber außerdem steht die Lunge durch ihren Luftgehalt in einer sehr bestimmten Beziehung zum specifischen Gewichte der Thiere. Diese Beziehung macht sich neben der Respiration in den sackförmigen Anhängen der Vögellungen geltend; aber sie bleibt ganz allein übrig bei den Fischen, und die Lunge wird hier als Schwimmblase zu einem blosen Hilfsorgane der Lokomotion; ihre Verbindung mit der Mundhöhle geht hier sehr häufig verloren. Endlich tritt die Schwimmblase bei manchen Fischen in Beziehung zu dem Gehörorgane; eine Reihe von kleinen, rippenartigen Anhängen der Halswirbel verbindet sie mit dem inneren Ohr. Die Schwimmblase wirkt hier als Resonanzboden; die äußeren Schallwellen, die sich dem Körper des Fisches mittheilen, werden durch das Mitschwingen der Schwimmblase verstärkt und so dem inneren Ohre zugeführt.

Faßt man die Lunge blos von der überwiegenden funktionellen Seite, als Athmungsorgan auf, so darf man die Schwimmblase, wie wir es früher gethan haben, nicht als Lunge erklären. Aber die morphologische Auffassung macht es möglich, die verschiedene Thätigkeit der Lunge für die Athmung, für das Gleichgewicht und für das Gehör der Thiere wohl zu begreifen. Wir legen auf dieses Beispiel besonderen Werth, weil es mehr

Digitized by Google

als ein anderes zeigt, daß Gestalt und Thätigkeit sich nicht decken. R. Owen hat die Fruchtbarkeit dieses Satzes für die vergleichende Anatomie zuerst ganz erkannt und die morphologisch verwandten Organe als homologe, die funktionell verwandten als analoge unterschieden. Für unsere Zwecke sind diese Thatsachen besonders wichtig, weil sie aufs klarste für die harmonische Vereinigung von zwei verschiedenartigen Principien in den organischen Körpern sprechen. Auch im Thiere geht der Grund dieser Harmonie nicht in die Existenz des Individuums ein; aber die Harmonie bewährt sich in den höchst mannigfaltigen Beziehungen zwischen Gestalt und Thätigkeit, in den kleinen Veränderungen, welche jedes dieser beiden Principien durch Anschmiegen an das andere erleidet.

Dieser Zusammenhang zwischen Gestalt und Thätigkeit neben der relativen Selbständigkeit beider Principien bewährt sich nicht nur im Ganzen, sondern in jedem einzelnen Gewebe und Organe der thierischen Körper. Aber, wie wir es bei der Pflanze gethan haben, müssen wir von hieraus zur morphologischen und funktionellen Harmonie der Organe unter sich aufsteigen. In der Pflanze äußerte sich diese Harmonie vornehmlich in den Form- und Zahlengesetzen, welche an allen Punkten Stengel und Blatt bestimmen. Aber diese mathematischen Gesetze der Gestaltung treten bei den Thieren mehr in Hintergrund. Die scharfbestimmte Zahl der Arme bei den Strahlthieren, die symmetrischen und spiraligen Bildungen in den Schalen der Weichthiere, die feste Umgränzung der Gliederzahl im Rumpfe und den Extremitäten der meisten Glieder- und Wirbelthiere mahnt noch an die mathematische Strenge der pflanzlichen Bildung. Auch die organischen Grundformen, welche der thierischen Gestalt zu Grunde liegen, verhalten sich nicht so einfach, wie die Typen der pflanzlichen Bildung (II. 217); man würde beim Thiere vergeblich nach einem so durchgreifenden Gegensatze suchen, wie er bei der Pflanze in Stengel und Blatt sich darbietet. Tritt so beim Thiere das morphologische Band der Organe

Digitized by Google

zurück, so erscheint um so gewaltiger ihr funktionelles Zusammenwirken. Bei der Pflanze liegen die Organe mit ihren Thätigkeiten mehr aus- und nebeneinander. Mit der Concentration der Thätigkeiten, mit ihrer Fixirung in bestimmten Geweben wird jede derselben gesammelter, energischer, und diese Steigerung der funktionellen Gegensätze bringt auch einen kräftigeren Zusammenstoß, eine innigere Berührung der verschiedenartigen Organe hervor.

Hier, wie überall im Organischen, stehen sich die chemischen und physikalischen Thätigkeiten gegenüber. Wir haben die thierische Säftebildung geschildert, wie sie durch die Organe des Kreislaufes geleitet und durch die Organe der Verdauung, der Athmung und der Absonderung zu Stande gebracht wird. Wir haben ebenso das Zusammenwirken des centralen Nervensystems mit den Sinnes- und Bewegungsorganen erörtert. Die Wechselwirkung der Organe, ihre relative Selbständigkeit und Abhängigkeit trat schon hierin viel deutlicher, als bei der Pflanze hervor. Aber das wechselseitige Verhältniß der drei Seiten des organischen Lebens, der Nerventhätigkeit, des Stoffwechsels und der Gestalt wird erst beim Thiere so einleuchtend, daß alles, was bei der Pflanze für diese höchste Harmonie beigebracht werden konnte (II. 220, 221), nur als eine schwache Andeutung erscheint. Dort zeigten wir, daß die Bewegungen bisweilen dem Stoffwechsel dienen, daß der Stoffwechsel weiterhin das Material für die Gestalt liefert; aus der Gestalt der Organe endlich ergab sich wieder die Möglichkeit der Bewegungen. Dieser geschlossene, in sich selbst zurücklaufende Kreis tritt in der Pflanze nur stückweise in die Erscheinung; im Thiere liegt er als das Band aller Vorgänge klar zu Tage.

Wir fassen diesen Kreis an der Stelle an, wo die flüssige Masse des Thierkörpers fest wird und Gestalt gewinnt. Hier liegt Jedermann vor Augen, daß der Stoff zwar nicht die Art der Gestalt, aber doch das Zustandekommen der Gestalt

Digitized by Google

bedingt. Die Substanz der Organe wechselt immer; in der Thätigkeit selbst wird der Stoff verbraucht, und es bedarf einer fortdauernden Stoffbereitung, um die Organe in ihrem rechten Bestande zu erhalten. Hier liefern die stoffbereitenden Organe offenbar die Masse, aus welcher das gestaltende Princip die inneren und äußeren Formen des Thierkörpers bildet. Aber mit dem Fertigwerden der Gestalt beginnt auch die Thätigkeit der bewegenden Organe. Das Herz des bebrüteten Hühnchens fängt seine Bewegungen an, ehe äußeres Blut als Reiz in dasselbe einströmt. Schon im Ei zucken die Muskel der äußeren Bewegungsorgane. Und nicht blos bei den ersten Anfängen der Gestaltung tritt mit der Vollendung der Form dieser innere Bewegungstrieb hervor; sondern er äußert sich auch noch im vollendeten Thiere als eine fortdauernde Eigenschaft jener Ganglien, welche die Bewegung und vorzüglich die äußere Bewegung beherrschen. In keinem Thiere kommen, so lange sein Gehirn thätig ist, die äußeren Bewegungsorgane je vollkommen zur Ruhe. Ein ununterbrochener Trieb hält diese Organe fortwährend in Thätigkeit und Spannung; und eine Hauptverschiedenheit zwischen Thier und Pflanze besteht namentlich darin, daß diese als Ganzes ruht, daß jenes aber von inneren Mittelpunkten ununterbrochen zu Bewegungen angeregt wird. Im Allgemeinen also hängt die Möglichkeit und der Anstoß zu Bewegungen mit der Gestalt der thierischen Organe zusammen; aber auch im Einzelnen steht die Art der Bewegung mit der Form der Organe in der nächsten Beziehung.

Der dritte Punkt ist die Beziehung der thierischen Bewegungen zu dem Stoffwechsel der Thiere. In dem Verhältnisse des Stoffwechsels zu der Gestalt und der Gestalt zu den Bewegungen waren schon die mannigfaltigsten Beweise für die Zweckmäßigkeit gegeben, mit welcher durch die eine Thätigkeit, durch das eine Organ auch für die übrigen Thätigkeiten und Organe des Thierkörpers gesorgt wird. Aber diese Zweckmäßigkeit wird noch viel einleuchtender bei den Bewegungen;

Digitized by Google

denn hier regieren nicht überall unveränderliche Gesetze; sondern selbst die Willkühr der thierischen Bewegungen vermag nicht das Band zu zerreißen, welches die Bewegungen der Thiere an ihre stoffliche Existenz knüpft. Auf der niedersten Stufe stehen auch hier die Muskelbewegungen, welche in den Organen der Verdauung, der Athmung, der Absonderung und des Kreislaufes vor sich gehen. Wir haben wiederholt darauf hingewiesen, daß diese Bewegungen unwillkührlich und unbewußt geschehen, daß das Motiv für sie von untergeordneten Ganglien ausgeht, und daß äußere, nicht zum Bewußtsein gelangende Eindrücke jene Ganglien zu Bewegungsmotiven anregen. Hier ist es aber nothwendig, die wesentliche Zweckmäßigkeit hervorzuheben, welche in den Leistungen der unwillkührlichen Muskel hervortritt. So lange nicht abnorme Eindrücke auf die Oberfläche des Verdauungskanales gemacht werden, vermitteln die Muskel des Darmrohres in der richtigen Ordnung die Fortbewegung der Speisen. Ebenso treibt insbesondere das Herz die Blutmasse mit angemessener Kraft und Richtung durch die Körpergefässe, so lange nicht ein krankhaftes Hinderniß an irgend einer Stelle die Blutbewegung aufhält. Muskelbewegungen sind für alle Seiten des Stoffwechsels durchaus nothwendig, und vermöge einer unerklärten Uebereinstimmung leisten hier die Muskelapparate genau dasjenige, was in jedem stoffbereitenden oder stoffzersetzenden Organe von ihnen verlangt wird.

In den Muskeln der Eingeweide entspricht die Bewegung immer genau dem äußeren Eindrucke. Aber zwischen die äußere Anregung und die folgende Bewegung tritt in den höheren Regionen des Nervensystems nicht blos die Reflexthätigkeit der Ganglien, welche den centripetalen Reiz mit verschiedener Energie geradezu in den centrifugalen übersetzt; sondern durch Dazwischenkunft des Bewußtseins werden wechselnde Bewegungseffekte hervorgerufen, die nicht mit Nothwendigkeit den äußeren Eindrücken entsprechen. Hier scheint völlige Willkühr zu herrschen;

Digitized by Google

aber bei näherer Untersuchung zeigt es sich, daß auch auf der höheren Stufe die Zweckmäßigkeit der niedrigeren wiederkehrt.

Wir haben gezeigt, wie im Bewußtsein der Thiere zweierlei Eindrücke zusammentreffen, klare, äußere Sinneseindrücke und dunklere Gefühle von den Zuständen der eigenen, inneren Körperorgane. Von den letzteren muß zur Erklärung der äußeren Bewegungen ausgegangen werden. Jedes einzelne Organ bedarf zum ungehemmten Fortgange seiner Thätigkeit gewisser Bedingungen, und die Erfüllung oder Nichterfüllung dieser Bedingungen erregt im Bewußtsein die Gefühle von Lust oder Unlust, von Wohlbefinden oder Uebelbefinden. Solche Gefühle sind nicht allgemein und unbestimmt; sondern das Thier wird sich bewußt, in welchem Gebiete seines Körpers jene Gefühle erregt werden. Wir haben schon früher erwähnt, daß diese Gefühle auf einem angebornen Maaße beruhen, nach welchem das thierische Bewußtsein die Zustände der Organe dunkel beurtheilt. Jedes einzelne Gefühl entsteht im Bewußtsein des Thieres; aber es erhält sein eigenthümliches Gepräge von dem Organe, durch dessen Zustände es angeregt wird. Dahin gehört das Gefühl der vollen Kraft oder der Ermattung in den Centralorganen des Nervensystems, das Gefühl des Vorrathes oder des Mangels an Luft in den Athmungsorganen, das Gefühl der Sättigung oder des Hungers und Durstes in den Organen der Ernährung. Aber wie diese Gefühle von den einzelnen Organen aus erregt werden, so entstehen ähnliche Eindrücke im Bewußtsein des Thieres auch durch die Ungetrübtheit oder durch die Störung seines Lebens im Allgemeinen; auch die Energie der ganzen Existenz kann je nach ihren verschiedenen Graden Lust oder Unlust hervorrufen.

Wenn die Bedürfnisse des Thieres im Ganzen oder im Einzelnen befriedigt sind, so gibt das Gefühl der Befriedigung keinen weiteren Anstoß zu neuen, bewußten Thätigkeiten; so lange dieses Gefühl dauert, bleibt das Thier auch in Ruhe. Aber ganz anders ist es, wenn durch Nichtbefriedigung eines

Digitized by Google

Bedürfnisses, durch Hemmung einer Thätigkeit im Bewußtsein Unlust erregt wird. Es folgt hieraus unmittelbar die Begierde, das Hinderniß zu entfernen oder sich des Gegenstandes zu bemächtigen, der zur Befriedigung dienen kann. In beiden Fällen kann der Begierde nur durch die Bewegung willkührlicher Muskel Folge geleistet werden. So wird durch die dunkeln Eindrücke, welche der Zustand der Organe im Bewußtsein erregt, unter gewissen Umständen der Anstoß zu bewußten Bewegungen gegeben. Jene Eindrücke oder Gefühle werden, sofern sie Bewegungen veranlassen, als thierische Triebe bezeichnet. Es ist am besten, drei hauptsächliche Triebe zu unterscheiden. Der eine bezieht sich auf die ungetrübte Erhaltung der allgemeinen Existenz des Thieres; dieß ist der Selbsterhaltungstrieb. Der zweite, der Nahrungstrieb, ist auf die ungehemmte Thätigkeit der Ernährungsorgane gerichtet. Der dritte endlich, der Geschlechtstrieb, hat die Erhaltung der Species durch geschlechtliche Thätigkeit zu seinem Zwecke.

Die Bewegungen, welche das Thier zur Befriedigung seiner Triebe ausführt, sind nicht als unmittelbare, unabänderliche Folgen der Triebe zu betrachten. Sie sind vielmehr der Effekt einer zusammengesetzten Thätigkeit des thierischen Bewußtseins. Das Thier bedarf zur Ausführung jener Bewegungen zuerst der Kenntniß der Mittel, welche seine Triebe zu befriedigen vermögen. Diese Mittel befinden sich aber ohne Ausnahme nicht innerhalb des Thieres selbst, sondern in seiner äußeren Umgebung. Aus der letzteren kommt dem Thiere Kunde durch seine Sinnesorgane, und diese Kunde von der äußeren Natur ist viel genauer, als die dunkeln Eindrücke des Gemeingefühles, welche das Thier von dem Zustande seiner eigenen Organe erhält. Obenan steht hier das Auge, welches die schärfsten Sinneseindrücke liefert. Dann folgt das Ohr und der Tastsinn; aber auch der Geruch und der Geschmack sind für das Thier bisweilen vom höchsten Werthe. Die beiden letzten Sinne treten in besondere Beziehung zu den Mitteln, welche den Nah-

Digitized by Google

rungstrieb stillen; das Thier wendet sie an, wenn es die Eigenschaften der Nahrungsmittel prüft. Das Gehör steht im genauesten Zusammenhange mit dem geschlechtlichen Gegensatze; Töne bewirken vorzüglich die Annäherung der Geschlechter. Der Tastsinn gibt besonders Nachricht über Beeinträchtigungen der allgemeinen Existenz des Thieres. Am umfassendsten wirkt aber das Auge; es zeigt auf gleiche Weise den Feind und die Beute, die schädliche oder nützliche Nahrung, das fremde oder das gleichartige Thier. Mit diesen besonderen Beziehungen einzelner Sinne ist indeß natürlich nicht ausgeschlossen, daß jeder Sinn auch zu jedem Triebe in ein Verhältniß treten kann.

Die Art, wie die Sinne solche Kunde von der Außenwelt bringen, ist nicht wunderbarer, als die Beziehung aller äußeren Eindrücke zum Bewußtsein des Thieres. Aber das Verhalten des Bewußtseins zu diesen Sinneseindrücken geht über die gewöhnlichen organischen Vorgänge hinaus. Das Thier unterscheidet zwischen den Nahrungsmitteln und überhaupt zwischen den Gegenständen seiner Umgebung, und jedes Thier unterscheidet wieder auf seine eigenthümliche Weise; was dem einen angemessen ist, wird von dem anderen zurückgewiesen oder geflohen. Hier erscheinen in jedem Thiere Sympathieen und Antipathieen; und es läßt sich nicht läugnen, daß diese zum Triebe in einer besonderen Beziehung stehen. Das pflanzenfressende Thier, der Wiederkäuer, scheidet die schädlichen Kräuter aus und ergreift die nützlichen. Der schwache Vogel, das kleine Säugethier entflieht vor größeren Raubthieren. Der Raubvogel, das reißende Säugethier erfaßt die passende Beute. Das Gehör, in manchen Fällen auch der Geruch führen die Geschlechter Einer Species oft aus weiten Entfernungen zusammen. Hat das Thier diese Kenntniß des Nützlichen und Schädlichen durch Erfahrung erhalten? Dieses läßt sich in keiner Weise behaupten; denn schon das neugeborne Thier sucht die Zitzen der Mutter auf, und Pflanzenfresser werden von Niemand in der Unterscheidung der nützlichen und schädlichen Kräuter unterrichtet. Wo

Digitized by Google

man diese Auswahl beobachtet, da stellt es sich, sowohl beim Fliehen des Schädlichen als beim Ergreifen des Nützlichen, deutlich heraus, daß die Fähigkeit des Wählens dem Individuum gleich anfänglich gegeben, und nicht erst von ihm erworben ist. Zur Erklärung dieser Thatsache wird nichts gewonnen, wenn man annimmt, das Thier habe die Fähigkeit von seinen Voreltern ererbt; denn auch bei diesen bleibt es unbegreiflich, wie sie eine solche Fähigkeit erworben haben sollen.

Es bleibt also nichts übrig, als hier wieder auf den Grund alles Geschaffenen, auf die göttliche Weisheit zurückzugehen; durch diese werden in jedes Thier angeborne Sympathieen und Antipathieen gepflanzt, welche auf zweckmäßige Weise das Verhalten des Thieres zu seiner Umgebung bestimmen. Das Thier wird sich dieser Zu- und Abneigungen bewußt; aber das Warum derselben liegt jenseits seines Bewußtseins. So besitzt das Thier ein angebornes Maaß für die inneren Zustände seines Körpers, wie für die Verhältnisse seiner äußeren Umgebung. Beide Maaße beruhen nicht auf bewußter Thätigkeit des Thieres; beide stehen zum Triebe im genauesten Verhältnisse, indem sie theils den Trieb von innen anregen, theils dem Triebe seine Richtung nach außen geben.

Der Trieb wird erregt durch innere Zustände; er richtet die Aufmerksamkeit des Thieres auf die äußere Umgebung, und sein letzter Effekt sind Bewegungen, durch welche das Thier einen äußeren Gegenstand theils flieht, theils erfaßt. In diesem letzten Stadium werden willkührliche Bewegungsorgane in Thätigkeit gesetzt. Aber auch hier fehlt es nicht an neuen, wunderbaren Beziehungen. Wir sprechen nicht von dem inneren Mechanismus des Nervensystemes, welcher die bewußten Bewegungen regelt und ordnet; sondern hier ist die Frage, wodurch denn das Thier überhaupt befähigt werde, zum bestimmten Zwecke die richtigen Muskelgruppen im richtigen Maaße anzustrengen. Der Vogel, der seine ersten Flugbewegungen macht, wird zu diesen nie durch physikalische Reflexionen und häufig nicht durch

Digitized by Google

das Beispiel anderer Vögel bestimmt. Die Katze, welche einen weiten Sprung thut, bemißt die Anstrengung ihrer Glieder nicht genau nach der Entfernung, sondern ungefähr nach dem Augenmaaße. Beim erwachsenen Thiere nimmt das Bewußtsein an allen diesen Bewegungen Theil; aber das neugeborne Thier besitzt, wenn man so sagen darf, eine angeborne Kenntniß seiner Bewegungsorgane, vermöge welcher es zu jeder Bewegung die richtigen Glieder wählt. Auch diese Kenntniß steht nicht unter der Herrschaft des Bewußtseins, sondern wird von diesem blos zu seinen Zwecken benützt. Und so findet der Trieb weder Anfang, noch Richtung, noch Ausführung ohne ein ursprüngliches Maaß, welches das Verhältniß des Bewußtseins zu den inneren Zuständen, zu den äußeren Umgebungen und zu den äußeren Bewegungsorganen bestimmt. Ohne dieses angeborene Maaß würde das thierische Bewußtsein hilf- und rathlos den Organen des eigenen Körpers und den äußeren Dingen gegenüber stehen; es gewinnt erst durch dieses Maaß die Herrschaft nach innen und außen; aber diese Macht schafft das Thier nicht sich selbst, sondern sie wird ihm durch göttlichen Willen eingepflanzt und erhalten.

So liegt im Thiere zwischen dem Innewerden und dem Befriedigen des Bedürfnisses eine ganze Reihe von Vorgängen, zu denen theils bewußte, theils unbewußte Thätigkeiten zusammenwirken. Schon durch diese Mannigfaltigkeit der Bedingungen wird die Befriedigung der thierischen Bedürfnisse nicht zu einem Akte der strengen Nothwendigkeit, sondern zu einem Processe mit veränderlichem Ausgange gemacht. Aber dazu kommt noch, daß im Thiere zur gleichen Zeit nicht blos Ein Trieb wirkt, daß dem Triebe sich nicht blos Ein Mittel zur Befriedigung darbietet, daß endlich dieses Mittel nicht blos auf Eine Weise erreicht werden kann. Der Fuchs, der die Lockspeise nicht ergreift, weil er die Falle sieht, schwankt zwischen der Befriedigung des Nahrungstriebes und des Selbsterhaltungstriebes. Der Hund, der das Brod verschmäht, wenn er Braten hofft,

Digitized by Google

wählt zwischen zwei Mitteln zur Befriedigung seines Nahrungstriebes. Der Hund endlich, der den Hasen auf dem gleichen Wege nicht erreicht und ihm daher den Weg abschneidet, wechselt auf zweckmäßige Weise zwischen den Wegen, welche er zur Erreichung seines äußeren Zieles einschlagen kann. So wählt das Thier in dreifacher Weise, zwischen den Trieben, zwischen den äußeren Mitteln und zwischen den Wegen zu diesen Mitteln. Die Entscheidung wird hiebei durch gradweise Unterschiede gegeben. Der stärkste Trieb überwältigt die schwächeren; der Auerhahn, sonst einer der scheuesten Vögel, setzt zur Zeit der höchsten geschlechtlichen Thätigkeit den Selbsterhaltungstrieb gegen den Geschlechtstrieb zurück. Der Bär, welcher beim Tanzunterrichte mit verbundenen Hinterbeinen und freien Vorderbeinen auf einen erhitzten Boden gestellt wird, erträgt lieber die Unbequemlichkeit, auf den Hinterbeinen zu gehen, als den Schmerz, welchen die Wärme in den Vorderbeinen verursacht. Das Raubthier vergißt über einer nahen Beute die entferntere, schwerer zu erreichende.

Wir haben schon oben (II. 435) das Bewußtsein als eine höhere, ideale Einheit bezeichnet, welcher im thierischen Organismus kein völlig einfaches Organ entspricht; diese Einheit erscheint im einzelnen Thiere nicht als das Wirkende, sondern nur als das Resultat der Thätigkeiten aller einzelnen Theile des Gehirns. In dem Bewußtsein gehen die Processe vor sich, welche wir so eben geschildert haben, die Aufnahme der inneren Eindrücke, die Aufmerksamkeit auf die äußere Umgebung und der Anstoß zu äußeren Bewegungen. Alle diese bewußten Processe geschehen nicht ohne die Mitwirkung gewisser unbewußter Thätigkeiten, als deren Organe wir am besten untergeordnete Ganglien betrachten. Aber es bleibt bei diesen Processen nicht; die einmalige Thätigkeit, sie mag bewußt oder unbewußt sein, geht nicht spurlos vorüber, sondern hinterläßt in den Centralorganen des Nervensystems bestimmte Nachwirkungen. Wenn ein Gefühl von Lust oder Unlust sich öfters

Digitized by Google

wiederholt oder nur einmal sehr kräftig im Bewußtsein auftritt, so kann es andauern, auch nachdem sein Grund aufgehört hat, zu wirken. Das Gefühl wird so zur Stimmung. Fröhlichkeit oder Traurigkeit sind oft an höheren Thieren, besonders an Affen, Hunden oder Pferden beobachtet worden. Aber nicht blos allgemeine Gefühle können den ersten Eindruck überdauern, sondern auch der einzelne Trieb hält bisweilen das Maaß fest, welches ihm durch eine stärkere Erregung gegeben worden ist. Gezähmte Thiere, vorzüglich Raubthiere, wie der Hund, die Katze, selbst Löwen und Hyänen, verlernen ihren Trieb zum Rauben durch die stärkere Entwicklung des Selbsterhaltungstriebes.

Von größerer Bedeutung ist das dauernde Gepräge, welches durch oftmalige Wiederholung einer und derselben Weise der Thätigkeit dem Verhalten des Thieres zur Außenwelt aufgedrückt wird. Die Nahrung, welche einem Thiere öfters gemundet hat, wird nicht vergessen und immer wieder aufgesucht. Der Weg, der öfters zur Erreichung eines Zweckes, z. B. zur Flucht aus der Gefangenschaft geführt hat, wird auch später wieder eingeschlagen. Dieses Haften der äußeren Eindrücke in den Nervencentren muß im Allgemeinen als Gedächtniß bezeichnet werden. In wie hohem Grade das letztere den Thieren zukommt, wird durch alltägliche Beispiele bewiesen. Das Gedächtniß besteht unabhängig vom Bewußtsein; aber es entspringt aus bewußten Eindrücken und wirkt selbst wieder kräftig auf das Bewußtsein zurück. Durch die Erinnerung an die frühere Befriedigung der Triebe wird das Thier aber auch in der Wahl und im Ergreifen der äußeren Gegenstände geübt. Das ältere Thier kennt seine Beute, sein ganzes Verhältniß zur Umgebung besser; es richtet überdieß seine Aufmerksamkeit schärfer auf Unbekanntes. Im Bewegen seiner Glieder ist es geschickter, und es weiß besser, von welcher Seite der Angriff oder die Flucht unternommen werden soll. Aus der Uebung entspringt so die Gewöhnung; die Bewegungen, welche oft mit Bewußtsein ausgeführt worden sind, geschehen später unbewußt und werden

Digitized by Google

so ein Theil von jenem Mechanismus, über welchen das Bewußtsein verfügt, ohne seine innere Gliederung klar zu begreifen. So wird durch die bewußte Thätigkeit des Thieres nicht allein das Bewußtsein selbst schärfer und weiter; sondern es wächst auch jener unbewußte Grund, in welchem sowohl die Begierden, als das Maaß für ihre äußere Befriedigung wurzeln; die Stimmung, das Gedächtniß, die Gewöhnung kommen zu der angeborenen Grundlage aller bewußten Thätigkeit als neu erworben hinzu.

Da der äußere Eindruck durch das Gedächtniß, das innere Bewegungsmotiv durch die Gewöhnung den Augenblick überdauert, so vermag das thierische Bewußtsein auch frühere Eindrücke und Motive unter sich oder mit neuen Eindrücken und Motiven in Beziehung zu setzen. Jene Eindrücke werden, sobald das Bewußtsein sie in sich aufnimmt, zu Vorstellungen. Das Thier bleibt sich des Verhältnisses dieser Vorstellungen zu seinen Trieben bewußt. Der Hund verbindet mit der Peitsche die Vorstellung eines schmerzhaften Eindruckes auf seine Körperoberfläche, und er fürchtet daher die Peitsche auch ohne den wirklichen Schlag. Aber das Thier wird durch diese Vorstellungen auch zu gewissen Bewegungen veranlaßt; Vögel fliegen gegen gemalte Früchte hin; andere fürchten sich aus angeborener Antipathie nicht blos vor dem wirklichen Raubvogel, sondern auch vor dem Luftballon, welcher die größere Masse und das Fliegen mit dem Raubvogel gemein hat. Es läßt sich in vielen dieser Fälle gar nicht bezweifeln, daß das Thier die Ordnung festhält, in welcher äußere und innere Processe zusammentreffen oder auf einander folgen. Mit dieser zeitlichen Verbindung prägt sich ihm bisweilen auch der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung ein; aber zum klaren Bewußtsein kommt ihm dieser nicht, und das Thier täuscht sich eben so oft, als der ursächliche Zusammenhang nicht dem Mit- oder Nacheinander geradezu entspricht. Dümmere Thiere beißen nach dem Stock, nicht nach dem Menschen, der sie schlägt;

Digitized by Google

aber auch klügere werden getäuscht; sie lassen sich z. B. durch Schlaflosigkeit zähmen, ohne sich gegen den Menschen zu wenden, der sie durch Trommeln oder Trompeten stört. Diese Verbindung von Vorstellungen verdient gewiß den Namen der Reflexion; die selbständige Ergänzung eines lückenhaften äußeren Eindruckes zu einem ganzen Bilde kann nur als Einbildung bezeichnet werden; aber zu dem, was im Menschen Verstand und Phantasie heißt, erheben sich diese Thätigkeiten doch nicht.

Der Endzweck aller dieser so mannigfaltigen, bewußten Thätigkeiten der Thiere ist nichts, als die Befriedigung ihrer Triebe. Sind aber diese die einzigen Motive für alle Aeußerungen des Bewußtseins, so fehlt es an einem überwiegenden und herrschendem Motiv für die bewußten Thätigkeiten der Thiere; denn von den Trieben ist keiner an sich und unter allen Umständen mächtiger als die übrigen. Darum wird das Thier, je nachdem der eine oder der andere Trieb überwiegt, verschiedenartig bestimmt, und es hängt von der wechselnden Kraft der Triebe ab, welchem von diesen das Thier folgt. Diese Vielheit wiederholt sich in allen Stadien der bewußten Thätigkeit; weder die äußeren Sinneseindrücke, noch die Bewegungen des Thieres werden nach einem inneren, bewußten Principe gemessen und bestimmt. Das Band der Triebe mit den Trieben, wie mit den äußeren Mitteln und Wegen ihrer Befriedigung ist ein völlig unbewußtes. Das Bewußtsein des Thieres setzt also eine Einheit voraus, und diese fällt im Wesentlichen mit der Individualität zusammen; aber diese Einheit tritt nicht ins Bewußtsein selbst herein; sie wird nicht zum bewußten Principe, welches die Begierden, die Vorstellungen und die äußere Thätigkeit des Thieres regelt. Alles, was im Bewußtsein des Thieres vorgeht, sind nur vereinzelte Processe, welche auf eine ursprüngliche Einheit hinweisen und durch deren unbegränzte Wechselwirkung selbst wieder das Eine Bewußtsein und das Eine Individuum immer von Neuem gestützt und gefördert wird.

Hieraus entspringt die Zersplitterung in der äußeren Thä-

Digitized by Google

tigkeit der Thiere. Da aber diese Thätigkeit auf einzelne Seiten des thierischen Individuums gerichtet ist, so kommt sie auch nicht über den Kreis des Individuums hinaus; das thierische Streben ist fast immer ein völlig selbstsüchtiges. Aus diesem vereinzelten, unruhigen Treiben tauchen nur einzelne, lichtere Punkte auf, wo das Thier den Kreis der individuellen Bedürfnisse überschreitet; das Motiv, durch welches das Thier hiebei getrieben wird, bezeichnen wir am besten als Instinkt; für dieses oft und verschieden gebrauchte Wort erhalten wir so eine scharfe Definition. Wenn ein Thier sich in Erdhöhlen verkriecht, um seinen Verfolgern zu entfliehen, so läßt sich dieses einfach aus dem Selbsterhaltungstriebe erklären; oder wenn ein Thier an seinen Aufenthaltsort aus der Umgebung Nahrungsmittel zusammenträgt, so ergibt sich dieses ohne Schwierigkeit aus dem Nahrungstriebe. Aber wenn die Biene künstliche Baue aufführt, in welchen ihre Brut sich entwickelt, wenn der Lachs weite Wanderungen macht, um an bestimmten Orten zu laichen, so geht dieses über die gewöhnlichen Triebe hinaus. Die Thiere werden zu diesen Handlungen durch die Sorge für die jungen Individuen, für die Erhaltung der Species bestimmt (II. 76).

Die Bienen, die Wespen und die Ameisen, die zahlreichen Spinnen, die große Zahl der Vögel und unter den Säugethieren vorzüglich die Biber setzen aus verschiedenen Materialien Baue oder Nester zusammen, und versehen diese Baue mit Nahrungsmitteln, um die Entwicklung ihrer Jungen zu sichern. Diese Sorge beginnt meist, noch ehe die neuen Individuen existiren, und es ist also klar, daß der Zweck, für welchen jene Thiere thätig sind, jenseits des Individuums liegt, daß das Individuum hier nicht für das gegenwärtige Bedürfniß seiner selbst, sondern für das zukünftige eines anderen besorgt ist. Der Trieb, welcher diesem Streben zu Grunde liegt, ist, wie alle Triebe, ein unbewußter. Aber er reicht in seinen Effekten nicht nur über das Individuum hinaus; sondern es sind ihm auch

Digitized by Google

alle anderen Triebe untergeordnet. Mit dieser umfassenden Bedeutung des Instinktes der bauenden Thiere erheben sich auch die Thätigkeiten, welche diesen Trieb befriedigen, auf eine viel höhere Stufe. Wenn die Mittel zur Befriedigung der anderen Triebe in der Umgebung aufgefunden und ergriffen sind, so wird der Trieb auf die einfachste Weise gestillt. Aber die künstlichen Baue der Thiere verrathen nicht nur die größte Klugheit, sondern sie sind auch, besonders bei den Bienen und Wespen, durch Formgesetze bestimmt, welche vielfach an die festen, mathematisch bestimmten Gestalten mancher niederen Thiere erinnern. Dieselbe innere, unbewußte Thätigkeit, welche überhaupt den äußeren Bewegungen Maaß und Richtung gibt, erhebt sich hier zu einem bestimmteren, unabhängigeren Principe; sie läßt die Thiere nach allgemeinen, geometrischen Gesetzen ihre Baue aufführen. So baut das Thier für zukünftige Zwecke; aber es baut nach Gesetzen, welche von zeitlichen Verschiedenheiten unabhängig, zu allen Zeiten dieselben sind. Man hat diese Art des Instinktes häufig als Kunsttrieb bezeichnet.

Auch die Wanderungen der Vögel und Fische stehen mit der Sorge für eine neue Generation in der nächsten Beziehung. Die Lachse steigen zu diesem Zwecke in den oberen Theil der Flüsse herauf. Die Häringe kommen aus der Tiefe des Meeres an die Küsten, und auch die Störche, die Kraniche und andere Vögel ziehen eigentlich aus den wärmeren Gegenden während der heißen Jahreszeit in die gemäßigteren, um hier zu brüten und ihre Jungen aufzuziehen. Auch zu diesen Wanderungen bestimmt ein unbewußter Trieb, der nicht auf das Individuum und nicht auf die Gegenwart, sondern auf die zukünftige Erhaltung der Species gerichtet ist; auch hier überwiegt der Instinkt alle anderen Triebe. Aber in der äußeren Thätigkeit der wandernden Thiere thun sich keine inneren Formgesetze kund; sondern hier kommt ein wunderbarer, innerer Zug hinzu, welcher dem Thiere die Richtung seiner Wanderung mit Sicherheit angibt.

Digitized by Google

Dieser Zug ist nicht abhängig von räumlichen Entfernungen; man könnte ihn als Ahnung bezeichnen.

Der Instinkt tritt nicht blos als ein neuer Trieb zu den übrigen hinzu; sondern vermöge seiner umfassenden Bedeutung verändert er auch die ganze Nerventhätigkeit der Thiere. Wir haben die inneren Gesetze angeführt, nach welchen die bauenden und wandernden Thiere sich richten. Aber diese Wirkung des Instinktes zeigt sich noch mächtiger in dem Verhältnisse, welches die Individuen mehrerer jener Thierspecies unter einander eingehen. Der geschlechtliche Gegensatz läßt überhaupt das einzelne Individuum nicht als ein vollendetes erscheinen; er knüpft thierische Individuen dauernd oder vorübergehend zusammen, und besonders polygame Thiere, wie die Wiederkäuer, verbindet er zu größeren Gesellschaften. Aber wo der Instinkt zu diesem Gegensatze der Geschlechter hinzukommt, da fesselt er die Individuen noch viel fester an einander. Es ist bekannt, wie die Zugvögel in großen Schwärmen von eigenthümlicher Form ihre Wanderung antreten; auch die wandernden Fische ziehen immer in größerer Zahl. Am merkwürdigsten und am bekanntesten sind indeß die dauernden Gesellschaften, welche die Bienen und Ameisen eingehen. In diesen Thiergattungen findet sich eine wahre Organisation der Arbeit. Die Individuen zerfallen in Männchen, in fruchtbare Weibchen und in unfruchtbare weibliche Thiere. Die beiden ersten Klassen übernehmen die Fortpflanzung; der letzten fällt die Vertheidigung und die Ernährung der jungen Brut anheim. Bei den Bienen findet sich in der Gesellschaft nur Ein fruchtbares Weibchen, und dieses stellt die Königin des ganzen Stockes dar. Wir können diese staatlichen Einrichtungen nicht aus dem Bewußtsein der Thiere ableiten. Vielmehr erheben sich hier die angeborenen Sympathien des Thieres zu einem umfassenden Gefühle, welches dem Individuum in einer höheren, geselligen Ordnung seine Stelle anweist.

So führt der Instinkt in jeder Hinsicht über das Individuum hinaus. Er treibt das Thier zur Erfüllung künftiger

Zwecke; die instinktiven Handlungen geschehen nach höhern, inneren Gesetzen und Ahnungen; und auch im äußeren Verhalten ordnet sich das Individuum einem höheren Ganzen unter. Aber der Instinkt bleibt doch völlig unbewußt, und ebendamit geht seine Tendenz auch nicht über den Kreis des Organischen hinaus. Die höhere Einheit, welcher er dient, die Species, ist selbst nur eine organische. Wir haben angenommen, daß die einzelnen Triebe aus dem Verhältnisse entspringen, in welchem die einzelnen Seiten des Körpers zum Bewußtsein der Thiere stehen. Für die Erregung dieser Triebe dürfen untergeordnete Ganglien in Anspruch genommen werden. Aber wo ist das Organ des Instinktes zu finden? Ein Trieb, der das ganze Individuum umfaßt, bedürfte zugleich das umfassendste und das concentrirteste Organ. Aber es ist nicht gelungen, im Nervensysteme der bauenden oder wandernden Thiere irgend welche Verhältnisse zu beobachten, die mit dem Instinkte in einer genauen Beziehung stünden. Offenbar ist der Instinkt nicht ein Trieb einzelner Organe, sondern ein Trieb des Individuums als eines Ganzen und Einen. Aber so wenig die Individualität der Thiere, so wenig ihr Bewußtsein in einem einzelnen Organe sich ausprägt, eben so wenig wirkt die individuelle Einheit, indem sie als Instinkt zum herrschenden Triebe wird, durch ein einzelnes Organ; eine größere Zahl von Nervenmittelpunkten muß zu den Effekten des Instinktes zusammenwirken.

Wir schließen mit dem Instinkte die centralen Thätigkeiten des thierischen Nervensystemes ab. Bewußte und unbewußte Processe greifen hier allseitig in einander ein; den Mittelpunkt des Ganzen bildet das thierische Bewußtsein. Auf dieses wirken die unbewußten Triebe; dieses Bewußtsein wird durch unbewußte Antipathieen und Sympathieen, durch unbewußte innere Normen der Bewegung in seinen Aeußerungen geleitet; dieses Bewußtsein vermittelt die innere Welt des Thieres mit seiner äußeren Umgebung. Aber wir sahen, daß das Bewußtsein nur als das einheitliche Band mannigfacher Thätigkeiten im Thiere

Digitized by Google

austritt; als selbständige Thätigkeit erscheint es nirgends, und das Thier wird sich daher seiner eigenen Individualität nicht bewußt. Nur in den unbewußten Gebieten der centralen Nerventhätigkeit tritt die individuelle Einheit selbstthätig als Instinkt hervor; aber auch dieser fehlt der großen Mehrzahl der Thiere.

Begreifen wir nun den ganzen Kreis der centralen Thätigkeiten des Nervensystemes als die Seelenthätigkeiten der Thiere, so ist aus dem Bisherigen klar, daß auch in diesen eine Thätigkeit von überwiegender, umfassender Bedeutung fehlt. Die Seelenthätigkeiten sind theils unbewußte, theils bewußte; ihre Verbindung ist im Bewußtsein gegeben; aber keine einzelne, an sich einfache Seelenthätigkeit beherrscht im Thiere alle andern. Der Begriff der Thierseele entspricht offenbar dem Principe der Individualität, sofern dieses sich in den centralen Nerventhätigkeiten ausdrückt. In dieser Seele äußert sich die Individualität am reinsten und bestimmtesten, und von den Seelenthätigkeiten selbst erscheint das Bewußtsein als die höchste. Aber wie das Princip der Individualität in den Organismen nie als solches in die Erscheinung tritt, sondern nur als die höhere, ideale Einheit die entgegengesetzten organischen Thätigkeiten verbindet, ebenso wird die Seele im Thiere nie selbständig. Sie ist an sich eins und untheilbar; aber in der Wirklichkeit tritt sie nur als eine Summe von Thätigkeiten auf, welche durch eine ideale Einheit verknüpft werden. Nur im Instinkte bricht diese Einheit als ein unbewußter Trieb durch; die höhere, bewußte Kraft, welche die Seelenthätigkeiten des Menschen beherrscht, wird im Instinkte erst ahnungsvoll angedeutet.

In der Thierseele sammelt sich die organische Individualität zu ihren höchsten Leistungen. Was in der Pflanze zerstreut aus einander liegt, das drängt sich immer centralisirter im Thiere zusammen, und die Seelenthätigkeiten werden zum eigentlichen Mittelpunkte des thierischen Lebens. Nirgends erscheint der schaffende und erhaltende Gott im organischen Reiche erhabener, als in jenen Thieren, welche durch ihre nimmer ruhen-

Digitized by Google

den Bewegungen und Handlungen nicht blos Reflexion, Klugheit und Einbildung, sondern auch den Zug nach geselliger Ordnung, die Ahnung des räumlich Entfernten und eingeborene Formgesetze erkennen lassen. Das Thier regt und bewegt sich frei in der umgebenden Schöpfung; aber es geht in keiner Weise über die Gesetze des Organischen hinaus. Denn die Seele des Thieres ist noch nicht ihrer selbst mächtig; sondern, ins Einzelne versunken, beruht sie noch ganz allein auf dem allgemeinen Grunde alles Geschaffenen, auf der Macht und Weisheit des Schöpfers. Alle Güte aber, welche Gott überhaupt im organischen Reiche ausgießt, wird den Thieren vorzüglich zu Theil; denn von diesen lebt jedes nach seiner eigenthümlichen Weise nicht blos in Gestalten, wie die Pflanzen, sondern auch in Bewegungen, in Begierden, Trieben, Stimmungen und Handlungen; aber keines stört darum die allgemeine Harmonie des Geschaffenen.

Digitized by Google

Siebenter Abschnitt.

Der Mensch.

Welch ein Meisterwerk ist der Mensch! wie edel durch Vernunft! wie unbegränzt an Fähigkeiten! in Gestalt und Bewegung wie bedeutend und wunderwürdig, im Handeln wie ähnlich einem Engel! im Begreifen wie ähnlich einem Gott! die Zierde der Welt, das Vorbild der Lebendigen!

Shakespeare.

Alles Fleisch ist wie Gras, und alle Herrlichkeit der Menschen wie des Grases Blume.

Brief Petri.

Wir sind am Schlusse unserer ganzen Untersuchung, beim Menschen angekommen. Der ganze Weg, der zurückgelegt worden ist, muß hier noch einmal überblickt, es muß erwogen werden, was sich aus den Resultaten der Untersuchung für die Stellung des Menschen in der umgebenden Schöpfung ergibt. Hier, beim Menschen, soll es sich ja vornehmlich zeigen, ob alle bisherigen Erörterungen nicht vergeblich sind, ob überhaupt die Betrachtung der Natur nothwendig zur Ueberzeugung von einem freischaffenden, persönlichen Gott führt. In allen Untersuchungen ist der Mensch gewöhnt, seine eigene Natur und Denkweise an die Dinge als Maaß anzulegen; und nicht selten verwirrt er dadurch die natürliche Ordnung, in welcher die geschaffenen Dinge mit einander stehen. Aber hier, wo es sich von dem Verhältnisse Gottes zur Natur handelt, muß mit Recht

Digitized by Google

am Schlusse gefragt werden, wie der Mensch sich zu den Resultaten der Untersuchung verhalte. Denn die natürliche Ordnung der Dinge schließt sich im Menschen ab; und wie dieser eine neue Ordnung beginnt, so stellt er selbst den Gipfelpunkt aller natürlichen Dinge dar. Die Resultate der bisherigen Untersuchung müssen daher in diesem Abschnitte nicht nur bestätigt, sondern noch in schärferer und umfassenderer Weise ausgedrückt werden.

Soweit unsere Erfahrung im Gebiete des Geschaffenen reicht, wird blos der Mensch von einer inneren Sehnsucht zu seinem göttlichen Ursprunge hingezogen. Wir haben die Versuche gezeigt, durch welche die Völker sich ihres Gottes zu versichern, ihn für ihren Verstand denkbar, für ihre Erfahrung greifbar zu machen strebten. So lange die menschliche Seele im Natürlichen sich versenkte, suchte sie nothwendig ihren Gott in Gestalten zu hüllen, welche sie in der Natur rings umgaben; so erst erhielt der Gott für sie die volle Wirklichkeit; denn Wirklichkeit hatte nichts, als was in den Kreis des Natürlichen fiel. Wie die Elementarkräfte, wie die Gestirne, wie das organische Princip vergöttert wurden, ist in früheren Abschnitten gezeigt worden. Nach dem organischen Principe war die nächste Stufe die menschliche Bildung, und diese ist es, welche in den griechischen Göttern ihren idealen Ausdruck gefunden hat.

Der unstete und irre Charakter des Schamanismus, die starre Gesetzmäßigkeit des Gestirndienstes, der phantastische Formenreichthum der indischen Götterbilder bleiben weit zurück hinter der Vereinigung von strengem Maaß und reicher Form, welche die religiösen Vorstellungen der Griechen auszeichnet. Der höchste Abschluß des Natürlichen ist im Menschen erreicht; und so mußten auch die griechischen Götter, indem sie in menschliche Gestalten gehüllt wurden, das Höchste in sich schließen, was die Welt des Natürlichen dem menschlichen Sinne darbietet. Dieses Höchste muß aber in ihnen am vollkommensten sich darstellen, weil die Schönheit und Kraft der menschlichen Natur in den

Digitized by Google

Göttergestalten noch concentrirter gedacht wurde. Diese Sammlung und Steigerung der natürlichen Vollkommenheiten des Menschen gibt den griechischen Göttern schon eine gewisse Idealität, welche über das Maaß des Natürlichen hinausgeht; aber diesen idealen Charakter erhalten sie noch mehr, weil nicht blos die natürliche, sondern auch die geistige Seite des Menschen sich in ihnen auf einer höheren Stufe wiederholt.

Die Vernunft, welche alle Einzelheiten unter höheren Begriffen zusammenfaßt und beherrscht, der Wille, welcher seine Antriebe aus sich selbst und nicht vom Natürlichen erhält, das sittliche Gefühl endlich, welches zu den natürlichen Gegensätzen noch einen neuen von höherer Ordnung, den Gegensatz zwischen Gutem und Bösem hinzufügt, erscheinen als Eigenschaften aller griechischen Götter. Aber sie werden diesen in einem Maaße zugeschrieben, welches das menschliche Maaß weit übersteigt. Die Vernunft steigert sich zur Allwissenheit; der höchste Wille wird zur Allmacht, und das höchste sittliche Gefühl macht den Gott zum Richter über böse und gute Thaten der Menschen. Das Princip der Sittlichkeit erhebt die Religion der Griechen über alle anderen Naturreligionen. Nur im persischen Feuerdienste war der Gegensatz des Guten und Bösen gleichfalls unter die leitenden Ideen des Religionssystemes aufgenommen; aber hier fiel er ganz mit dem Gegensatze von Licht und Finsterniß zusammen, und die persische Religion näherte sich dadurch noch vielfach dem Elementenkultus der Nomadenstämme Nordasiens. Viel deutlicher war im griechischen Kultus die Hinweisung auf ein Reich des Geistes und der Sittlichkeit gegeben, in welches der Mensch aus diesem Reiche des Natürlichen hinübergreift.

Aber auch die Griechen vermochten jenes höhere Reich nicht in seiner Reinheit zu erfassen; denn mit der Menschenähnlichkeit klebte ihren Göttern auch das Beschränkte und Endliche unseres Wesens nothwendig an. Wohl herrschte Zeus als der höchste über allen Göttern; aber in ihm war nicht der volle Inbegriff

Digitized by Google

des Göttlichen; sondern wie der Allgemeinbegriff des Menschen sich in einer größeren Anzahl von Individuen verwirklicht, so wurde auch das Göttliche durch einen ganzen Himmel von höheren und niedrigeren Göttern dargestellt. Wohl wachten die Götter und vorzüglich Zeus als Richter über die Thaten der Menschen; aber Zeus selbst wurde, so wenig als die anderen Götter, rein sittlich gedacht; alle Gottheiten nahmen in höherem oder niedrigerem Grade an den Schwächen und Verkehrtheiten, an den Begierden und Leidenschaften der Menschen Theil. Darum erscheint auch kein Gott als der eigentliche Ursprung des Sittengesetzes; Zeus, gleich allen Göttern, stand unter diesem Gesetze und hatte es nur an den Menschen zu üben. So war die Belohnung des Guten, die Strafe des Bösen nicht in die Hand eines absolut guten, frei waltenden Gottes gelegt; sondern nach starrer Nothwendigkeit fiel jedem Lohn und Strafe zu; das Sittengesetz wirkte mit der Strenge der Naturgesetze. Den Folgen der eigenen That konnte Niemand entfliehen; das selbstbereitete Schicksal traf nicht nur den Schuldigen, sondern auch seine Nachkommenschaft durch mehrere Generationen. Nur an wenigen Stellen tritt dieser Herbheit des unerbittlichen Schicksals der verzeihende Gott gegenüber; bei Apoll findet Orestes Versöhnung

Nur im Monotheismus ist der Eine Gott der Inbegriff der höchsten Weisheit, der höchsten Macht und der höchsten Güte. Er richtet nicht nach einem bindenden, unwandelbaren Gesetze; sondern nach seinem Rathschlusse vermag er zu strafen oder zu verzeihen. Der Mensch trägt das Bild des Einen Gottes in sich; aber die ganze Fülle des göttlichen Wesens kann weder in die menschliche, noch überhaupt in eine geschaffene Gestalt gefaßt werden. Gott steht zugleich über und in der Welt als ihr Schöpfer und ihr Erhalter; aber er tritt in besondere Beziehung zum Menschen, weil dieser nicht blos im Allgemeinen ein Geschöpf Gottes, sondern überdieß vom Hauche des göttlichen Geistes durchdrungen ist.

Digitized by Google

Wir haben in den bisherigen Abschnitten gezeigt, daß weder die allgemeinen Naturkräfte, noch die natürlichen Individuen, seien diese nun Gestirne oder Organismen, den Grund ihrer Existenz in sich selbst tragen, daß sie vielmehr alle auf den Einen Gott hinweisen, der sie schafft, erhält und verbindet. Aber hier, am Schlusse unserer Untersuchung, ist es nöthig, den Schein der Wahrheit auch jener Täuschung zu nehmen, welche den Menschen nicht blos als den Schluß der uns bekannten Schöpfung, sondern zugleich als das höchste und beinahe als das einzige, wahrhaft existirende Wesen darstellen möchte. Wenn nur der Begriff wahrhaft und ohne Voraussetzung existirte, dann gäbe es allerdings jenseits des Menschen kein höchstes, umfassendes Wesen mehr. Wir hoffen, zeigen zu können, wie der Mensch mehr, als irgend ein anderes geschaffenes Wesen, einen wirklichen freien Gott zur Begründung, zur Erhaltung und zur Ergänzung seiner beschränkten Existenz bedarf. Dieß ist indeß nur die Hälfte des geforderten Beweises. Die Kehrseite der Vergötterung des Begriffes ist die Verläugnung alles Göttlichen im Menschen. Wir haben zu zeigen, daß der Mensch in der That etwas Anderes ist, als ein bloser Organismus höherer Art, daß er durch neue Seiten der Existenz auch über das Höchste hinausgeht, was das organische und besonders das thierische Reich darbietet. Nur dadurch, daß das Göttliche im Menschen nachgewiesen und doch nur als ein Ausfluß des Einen Gottes erkannt wird, ist es möglich, die wahre Stellung des Menschen im Kreise der geschaffenen Wesen zu begreifen.

Wir betrachten die zwei Seiten des Menschen nach einander.

---

1) **Der menschliche Körper.** Die Substanzen, welche den menschlichen Körper zusammensetzen, enthalten dieselben chemischen Elemente, wie alle unserer Beobachtung zugänglichen Körper (I. 155). Die Art und Weise aber, wie sich diese Elemente zu den näheren Bestandtheilen unseres Körpers ver-

Digitized by Google

einigen, stimmt ganz überein mit den Gesetzen, welche für die Zusammensetzung der Organismen und insbesondere der Thiere gelten (II. 6, 228). Der menschliche Körper reiht sich also in chemischer Beziehung ganz den Organismen an; er hat, wie diese, den Planeten zu seiner chemischen Grundlage; aber die Verbindung seiner chemischen Elemente richtet sich nach eigenthümlichen, organischen Gesetzen. Aus dieser chemischen Constitution folgt unmittelbar, daß auch für den Stoffwechsel, welcher im menschlichen Körper vor sich geht, die allgemeinen Regeln des organischen Stoffwechsels gültig sind. Der menschliche Körper nimmt äußere Stoffe auf, verändert sie durch Athmung, eignet sie sich an und scheidet sie wieder aus. Vorzüglich aber verhält er sich in allen diesen Beziehungen dem thierischen Körper gleich (II. 234). Die chemische Beschaffenheit wird zur Grundlage für die Gestalt der Körper. Auch in dieser Beziehung weicht der menschliche Körper keineswegs von den Organismen und insbesondere von den Thieren ab. Auch unser Körper besteht aus mikroskopischen Formelementen, welchen allen der Zellentypus zu Grunde liegt (II. 29); auch in ihm verwandelt sich diese Zelle in verschiedenartige, dem Thierkörper eigenthümliche Gewebe (II. 252 ff.). Endlich begreift sich aus der Gestalt der Gewebe am besten ihre Beziehung zu dem physikalischen Verhalten der Außenwelt. Sinneseindrücke werden von außen aufgenommen, und, wie das Thier, verändert der Mensch seine Umgebung durch äußere Bewegungen.

In den Grundzügen des Baues und der Thätigkeiten stimmt also der menschliche Körper ganz mit den Organismen und vorzüglich mit den Thieren überein. Auch in ihm erscheint die Gestalt nicht als ein bloses, nothwendiges Resultat der Thätigkeiten, sondern als der Effekt eines eigenthümlichen, nach eigenen Gesetzen wirkenden Principes (II. 72). Der Mensch nimmt also, gegenüber vom Planeten, eine höhere Stufe der Individualität schon durch die Eigenschaften seines Körpers ein. Aber seine Uebereinstimmung mit der organischen und besonders mit

Digitized by Google

der thierischen Schöpfung beschränkt sich nicht blos auf die allgemeinen Grundzüge. Der Mensch schließt sich nicht nur den Organismen im Allgemeinen, sondern er schließt sich vornehmlich einer einzelnen Klasse der Thiere an. Nach seinem Körper gehört der Mensch durchaus zu den Wirbelthieren und unter diesen zu den Säugethieren. Er theilt mit dieser Klasse sowohl die Organe, als die äußere Gestalt und die innere Anordnung des Körpers. Wie bei allen Wirbelthieren, so stellt auch beim Menschen die Wirbelsäule die Längenaxe des Körpers dar. Auch hier umgeben die einen Wirbelbögen die Centralorgane des Nervensystems, die andern die Centralorgane des Stoffwechsels. Zwei Extremitätenpaare schließen sich auch hier durch breite Gürtel an das innere Wirbelskelet an. Die eine Leibeshöhle, welche bei den Säugethieren die untere, beim Menschen die vordere ist, enthält den ganzen Verdauungskanal mit dem Magen, dann die Leber, die Milz, die Nieren, die Lungen und das Herz; aber beim Menschen, wie bei den Säugethieren, wird diese Höhle durch das quere, muskulöse Zwerchfell in zwei getheilt, in die obere oder vordere Brusthöhle mit Lungen und Herz, und in die untere oder hintere Bauchhöhle mit dem Magen und Darmkanal und mit den massigsten Drüsen. In der andern Leibeshöhle, welche bei den Säugethieren nach oben, beim Menschen nach hinten liegt, befindet sich das Gehirn und das Rückenmark.

Wenn der Mensch durch die Zahl und Anordnung seiner Körperorgane sich völlig den Säugethieren anschließt, so gränzt er noch besonders nahe an die höchste Ordnung der Säugethiere, an die Vierhänder oder Affen. Diese Aehnlichkeit beruht aber vorzüglich auf den Organen des Stoffwechsels. Das vollständig getheilte Herz, mit zwei Vorhöfen und zwei Kammern, der feinzellige Bau der Lungen, die vollständige Athmung des Blutes, die Form des Magens und des Darmkanales, der Leber und der Nieren, alle diese Verhältnisse machen den Menschen den höchsten Affen ähnlich. Auch in den meisten

Digitized by Google

Sinnesorganen weicht er von diesen nicht bedeutend ab. Nur im Geschmack und im Tastsinn erhebt sich der Mensch über alle anderen Thiere; aber diese höhere Ausbildung steht in so genauem Zusammenhange mit der Stufe der Bewegungsorgane, daß wir erst bei diesen näher auf die menschlichen Sinne eingehen werden. Am auszeichnendsten für den Menschen sind aber gerade diejenigen Thätigkeiten, welche den Charakter der thierischen Organismen am schärfsten ausprägen, nämlich die Bewegung und die centrale Thätigkeit des Nervensystemes. Die wesentlichen Bestandtheile und den Grundtypus des Baues theilt der Mensch mit den Organismen überhaupt. Das nähere chemische Verhalten und die besondere Form der Gewebe hat er mit den Thieren gemeinschaftlich. Durch die Zahl und Anordnung der Organe stimmt er mit den Wirbelthieren, genauer noch mit den Säugethieren überein. Aber das speciell Menschliche tritt gerade in denjenigen Theilen hervor, welche sich im organischen Reiche zuletzt und nur als höchste Blüthe ausbilden, in den Bewegungsorganen und vorzüglich im Gehirn. Der Eigenthümlichkeit, welche der Mensch in diesen beiden Punkten zeigt, entspricht endlich noch sein Verhalten zu den Continenten der Erde. Wir beginnen diese Untersuchung mit

A. den Bewegungsorganen.

Wenn man beim Menschen die Säule der vierundzwanzig Wirbelkörper betrachtet, welche der Hals-, Rücken- und Bauchgegend angehören, so erkennt man leicht, daß jene Körper keine reinen Cylinder darstellen, sondern daß jeder derselben gegen das eine, beim Menschen nach unten gekehrte Ende hin etwas dicker wird. Dadurch nimmt auch die ganze Säule von der Spitze bis zur Basis allmählig an Durchmesser zu; jeder Theil in ihr wird von dem darunter liegenden getragen, und die Säule der Wirbelkörper kann daher schon durch die blose Form ihrer Knochen sich leicht in der aufrechten Stellung erhalten. Aber noch wichtiger, als diese Form

Digitized by Google

der Hals-, Rücken- und Bauchwirbel, ist die Verbindung des Kopfes mit der Wirbelsäule. Das Gelenk, in welchem die Wirbelsäule mit dem Kopfe zusammentrifft, liegt bei allen Thieren um so mehr an der hinteren Fläche des Kopfes, je horizontaler die ganze Stellung des Körpers ist. Daher rückt dieses Gelenk am weitesten nach hinten bei den schwimmenden Thieren; es steht schief nach hinten und unten bei den fliegenden und kletternden Thieren, bei den Vögeln, Fledermäusen und Affen. Aber beim Menschen allein liegt das Gelenk zwischen Hinterhaupt und Wirbelsäule ganz an der unteren Fläche des Kopfes, und zwar so, daß das Gewicht des Kopfes gleichmäßig um das Gelenk herum vertheilt ist. Der Kopf befindet sich ohne Weiteres auf der senkrechtstehenden Wirbelsäule im Gleichgewicht; er wird von ihr auch ohne die Beihilfe der Weichtheile getragen.

Es würde eigentlich schon diese Weise der Verbindung zwischen den einzelnen Wirbelkörpern und zwischen Kopf und Wirbelsäule genügen, um darzuthun, daß der Mensch nur für die aufrechte Stellung organisirt ist. Denn die innere Zweckmäßigkeit der Organismen läßt es nicht zu, daß die übrigen Körpertheile einer Lage widersprechen, welche in der eigentlichen Mitte des Skeletes, in Kopf und Wirbelsäule so bestimmt ausgeprägt ist. Aber auch jeder andere Punkt des menschlichen Skeletes weist die Lächerlichkeit jener Ansicht nach, welche den Menschen erst aus der horizontalen Lage sich zur senkrechten Stellung erheben ließ.

Bei allen Säugethieren sind die Kinnladen rein nach vorne gerichtet; darum nehmen sie, gegenüber vom Hinterhauptgelenke, das vordere Kopfende ein. Oberhalb der Kinnladen liegen Nase und Augen, hinter ihnen die Oeffnungen des Gehörorgans. Zwischen der oberen Kinnlade und dem Gelenke des Hinterhauptes wölbt sich oben die Schädelkapsel, welche dem Gehirn als schützende Decke dient; unten dehnt sich zwischen beiden die Mund- und Rachenhöhle aus. Beim Menschen

Digitized by Google

aber rückt das Gelenk des Hinterhauptes den Kinnladen unten viel näher. Dadurch verliert die Mundhöhle sehr an Ausdehnung; aber um so weiter gewölbt wird der Bogen, welcher von der oberen Kinnlade über das Schädeldach hin bis zum Gelenke des Hinterhauptes sich erstreckt. So tritt am Skelete das Gesicht gegen den Schädel zurück. Schon aus mechanischen Gründen verkürzt sich derjenige Theil des Kopfes, welcher der Athmung und Nahrung dient, und die Gehirnkapsel dehnt sich nach allen Seiten mächtig aus. Die gleiche Vertheilung des Kopfgewichtes vor und hinter dem stützenden Gelenke wird insbesondere durch die Verkürzung der Kinnladen, als des vorderen Hebelarmes, und durch die starke Auswölbung des Hinterhauptes, als des hinteren Hebelarmes, vermittelt. Wie aber die Kinnladen kürzer werden, rücken sie unter die Stirn, unter den vorderen Theil des Schädelgewölbes zurück. Aus der horizontalen Lage erhebt sich die Nase zur senkrechten. Die Augen erhalten neben der Nase vollen Raum an der vorderen Fläche des breiten Schädels, und so gestaltet sich die vordere, schwachgewölbte Fläche des Kopfes zum menschlichen Gesichte. Die Grundlage des Gesichtes bilden die beiden Kinnladen mit der Mundöffnung; an ihrer oberen Gränze liegen Nase und Augen, an ihrer äußeren die Ohren; aber das Ganze wird von einem Theile der Gehirnkapsel, von der Stirne überwölbt.

So gewinnt die Form des Kopfes und der Wirbelsäule zunächst für das Gleichgewicht des menschlichen Körpers in der aufrechten Stellung eine große Wichtigkeit. Aber die Fundamentaltheile des Skeletes weisen zugleich auf die hohe Bedeutung hin, welche das Gehirn im menschlichen Körper erhält; schon aus den mechanischen Verhältnissen von Kopf und Wirbelsäule läßt sich die überwiegende Entwicklung der menschlichen Seelenthätigkeiten vermuthen.

Das untere Ende der Bauchwirbelsäule ruht auf der breiten Fläche des obersten Kreuzwirbels. Die Wirbel der Kreuzgegend sind fest unter einander verschmolzen, und bilden zusam-

Digitized by Google

men einen sehr starken und breiten Knochen, der oben am breitesten ist und sich nach unten rasch verschmälert. Dieses sogenannte Kreuzbein trägt die ganze Last des Schädels, der oberen Wirbelsäule und aller daran befestigten Knochen und Weichtheile. Aber das Kreuzbein spitzt sich nach unten zu, um selbst wieder als ein fester Keil zwischen zwei Knochen zu haften, von welchen es getragen wird. Wie nämlich das Kreuzbein, als der Träger der oberen Körperhälfte, beim Menschen breiter und stärker wird, als bei irgend einem Säugethiere, so geht es auch mit dem Gürtel der unteren Extremitäten eine besonders feste Verbindung ein. Zu beiden Seiten sind an das Kreuzbein die breiten und flachen Hüftbeine angefügt; sie bilden den hintern Theil des unteren Extremitätengürtels, der sich überdieß nach vorn durch die schmäleren Scham- und Sitzbeine vollständig abschließt. In den hinteren Ausschnitt dieses Gürtels paßt nun das Kreuzbein so genau herein, daß es nicht blos durch feste Bänder, sondern schon durch seine keilförmige Einklemmung zwischen den Hüftbeinen festgehalten wird. Auf solche Weise entsteht beim Menschen am unteren Ende der Bauchhöhle ein geschlossener Kranz von ungewöhnlich starken und breiten Knochen, auf welchem die Last der Baucheingeweide vornehmlich ruht. Dieser Kranz heißt im Ganzen das Becken; aber er trägt nicht nur die genannten Eingeweide, sondern auch die Last des ganzen Rumpfes, des Kopfes und der oberen Extremitäten. Darum ist das Becken auch beim Menschen viel weiter und kräftiger, als bei irgend einem Thiere.

Wenn nicht blos der Kopf und die Wirbelsäule, sondern auch der untere Extremitätengürtel ganz zur aufrechten Stellung des Menschen passen, ja diese vielmehr verlangen, so ergibt es sich von selbst, daß die unteren Extremitäten dafür eingerichtet sein werden, als Träger des Körpers zu dienen. In der That zeichnen sich diese Extremitäten durch eine besondere Länge und Stärke ihrer Knochen, namentlich des Oberschenkels und Schienbeines aus. Dazu kommen die äußerst festen Ge-

Digitized by Google

lenke, welche der Oberschenkel mit dem Becken (II. 401), der Unterschenkel mit dem Fuße eingeht; hier ist durch die Anordnung der Knochen fast alle Möglichkeit des Ausweichens entfernt. Endlich aber muß als besonders wichtig noch der Bau des Fußes erwähnt werden. Die hinteren Hände der Affen treten nur mit dem äußeren Rande auf, und darum bewegen sich die Affen so beschwerlich auf den Hinterbeinen. Aber der menschliche Fuß berührt den Boden mit dem äußern und mit dem innern Rande einer breiten Sohle. So wird für die Beine die größere Fläche gewonnen, welche sie als die Träger des ganzen Körpers bedürfen. Aber auch für den Fuß wird die Last des Körpers noch durch besondere, mechanische Vorrichtungen erleichtert. Plattfüße, welche mit dem ganzen inneren Fußrande auftreten, erschweren das längere Schreiten. Im normalen Zustande bildet die Fußwurzel und der Mittelfuß ein flaches Gewölbe, welches wesentlich dazu beiträgt, die Körperlast zu tragen; darum ist dem Menschen der gewölbte Fußrücken ausschließlich eigen. Die Zehen endlich, welche den Fuß beschließen, liegen alle gleichförmig in Einer Reihe; sie dienen nur zur Unterstützung des Schreitens.

So sind die Beine des Menschen ausschließlich für den Einen Zweck organisirt, dessen Ausführung ihnen bei der aufrechten Stellung des Menschen zufällt. Der Mensch *schreitet* nur mit diesen *zwei* Extremitäten, und darum bedürfen sie neben einer größeren Länge auch einer besondern Stärke und Festigkeit ihrer Knochen und Gelenke.

Der Festigkeit des Beckens tritt auffallend die Beweglichkeit des *oberen Extremitätengürtels* entgegen. Das breite und flache Schulterblatt liegt verschiebbar zwischen den Muskeln des Rückens und wird nach vorne nur durch das dünne Schlüsselbein an dem Knochengerüste des Brustkorbes, am Brustbein befestigt. An diesem Gürtel lenkt sich der Oberarm so frei ein, daß er fast allseitige Bewegungen auszuführen vermag. Aber erst am Vorderarm und an der Hand tritt die menschliche

Digitized by Google

Eigenthümlichkeit in voller Entschiedenheit hervor. Die Hand bedarf zu ihren mannigfaltigen Zwecken nicht blos der Hebung und Senkung, sondern auch der Drehung um ihre Längenaxe, wodurch die innere Handfläche bald nach unten, bald nach oben gekehrt wird; vorzüglich durch diese Drehung ist sie im Stande, sich den äußeren Gegenständen, die sie ergreift, anzuschmiegen. Die Hebung und Senkung der Hand geschieht in dem Gelenke, welches sie mit dem Vorderarm eingeht; ihre Drehung wird aber durch die zwei Knochen des Vorderarmes selbst ausgeführt. Von diesen Knochen bildet nämlich der eine, das Ellenbogenbein, vorherrschend das feste Scharniergelenk mit dem Oberarmknochen; der andere aber, die Speiche, dient vorzüglich zur Verbindung zwischen Vorderarm und Hand. Diese Speiche nun ist nicht unbeweglich am Ellenbogenbein befestigt; sondern während ihr oberes Ende die Stelle nicht wechselt, beschreibt das untere einen solchen Halbkreis um das Ellenbogenbein als Mittelpunkt, daß die Speiche hier bald nach außen, bald nach oben, bald nach innen vom unteren Ende des Ellenbogenbeins zu liegen kommt. In dieser Bewegung folgt die Hand der Speiche, und der Daumen entspricht hiebei immer dem Punkte, an welchem sich die Speiche befindet; er wird gleichfalls bald nach außen, bald nach oben, bald nach innen gekehrt.

Die Drehung der Hand ist beim Menschen viel vollständiger als bei den höchsten Affen. Aber dazu kommt, daß auch die Bildung der menschlichen Hand selbst die höchste Stufe der Entwicklung dieses Organes bezeichnet. Die Hand des Menschen ist breiter, der Daumen des Menschen ist freier als bei irgend einem Affen. Diese beiden Punkte steigern die Fläche und die Energie, mit welchen die Hand äußere Körper ergreift. Endlich tragen die letzten Fingerglieder der menschlichen Hand die flachsten Nägel. Diese Organe, welche bei den Wiederkäuern und Dickhäutern die letzten Zehenglieder als feste, schützende Hufe rings umgeben, welche sich bei den Raubthieren zu starken Klauen entwickeln, verlieren schon bei den höchsten Affen viel

Digitized by Google

von ihrer Wölbung; aber erst beim Menschen lassen sie die untere Fläche und die Spitze des Nagelgliedes völlig frei. Gerade an diesen Stellen ist der Tastsinn des Menschen am vollkommensten entwickelt; die Nägel dienen nur noch als feste Unterlage für die weichen Theile, welche die Eindrücke der äußeren Gegenstände aufnehmen. So wird die Hand das vollkommenste Werkzeug zugleich für das Greifen und für das Tasten. Die Feinheit des Sinnes wird hier nicht, wie bei allen thierischen Händen, durch die Benützung zur Lokomotion, zum Klettern oder Schreiten beeinträchtigt. Die Ortsbewegung des Menschen ist ganz den Beinen übertragen; die Arme dienen hier, wie bei keinem Thiere, zu freieren Arten der Bewegung.

Wir haben schon bei der Hand der Thiere gezeigt, daß das Ergreifen mehr von wechselnden, inneren Motiven bestimmt wird, als die Ortsbewegung, welche nach festeren, physikalischen Gesetzen geschieht. Die menschliche Hand wird durch ihre Vollkommenheit das rechte Organ für die höheren, freieren Bewegungsantriebe, die von dem Willen des Menschen ausgehen. Unter den Bewegungen der Hand steht aber obenan das Tasten, d. h. die Verwendung der Hand zu den Zwecken des Tastsinnes (II. 387). Nur wo die Hand, wie beim Menschen, gar nicht mehr der Ortsbewegung dient, kann sie völlig ungehindert an den Oberflächen der Körper hingeführt werden. Darum gewinnt der Mensch durch seine Hand nicht blos größere Fertigkeit und Kraft im Ergreifen, sondern auch allein die genaue Kenntniß von der äußeren Form der umgebenden Dinge. Wohl gibt das Auge Aufschluß über die Oberfläche der Körper; aber im Gesichtseindrucke werden alle Gegenstände nur in Einer Fläche neben einander gesehen; daß ein Körper den Raum erfüllt, daß er auch eine Tiefe hat, darüber gibt das Auge unmittelbar keinen Aufschluß. Und hier tritt eben der vollkommene Tastsinn der menschlichen Hand ergänzend hinzu. Schon die Hand des Kindes prüft die Körper, welche das Auge erblickt, und so werden die Dimensionen der Höhe, Breite und

Digitized by Google

Tiefe zu wesentlichen Eigenschaften, welche der Mensch unwillkührlich mit jedem Körper verbindet. Aber diese Beziehung zwischen Sehen und Tasten beschränkt sich nicht blos auf eine gegenseitige Controlirung und auf eine daraus folgende Schärfung beider Sinne. Sondern nur die Verbindung von Hand und Auge läßt den Menschen die Gestalt der Körper genau erfassen; und diese Gestalt ist es ja, in welcher sich die Individualität der Körper abschließt (I. 258). Darum muß angenommen werden, daß schon vermöge der Sinnesthätigkeiten nur der Mensch im Stande ist, die Individualität der geschaffenen Wesen anzuschauen.

Der Bau des Kopfes und der Wirbelsäule hat uns unmittelbar auf die Größe des menschlichen Gehirnes, auf das Uebergewicht der menschlichen Seelenthätigkeiten geführt. Ebenso ergaben sich aus seinen Extremitäten Schlüsse auf die Entwicklung der höchsten Funktionen des Menschen. Was wir jetzt noch von den Bewegungsorganen zu erwähnen haben, wird gleichfalls ein helles Licht auf die Erhabenheit der menschlichen Natur werfen.

Unter den Hilfsorganen der Ortsbewegung trat öfters, und namentlich bei schwimmenden, hüpfenden und kletternden Thieren, der Schwanz auf. Er erschien namentlich dort, wo die Extremitäten zur Ausführung der Lokomotion nicht hinreichen. Es läßt sich schon zum voraus annehmen, daß der Mensch bei der hohen Entwicklung seiner Extremitäten kein solches Hilfsorgan bedarf; und in der That ist die Schwanzwirbelsäule beim Menschen ganz verkümmert und auf vier sehr kleine, nicht hervorragende Wirbel zurückgeführt. Während beim Menschen das eine Ende der Wirbelsäule im Schädel seine möglichste Ausbildung erreicht, hat das andere Ende keine andere Bedeutung mehr, als den Typus des Säugethierskeletes zu ergänzen. Der überwiegende Nachdruck ist beim Menschen mehr, als bei irgend einem Thiere, auf das Kopfende der Wirbelsäule gelegt (II. 455).

Von anderen Hilfsorganen wurde früher namentlich die

Digitized by Google

Zunge erwähnt; sie dient nicht selten zum Ergreifen und Betasten äußerer Gegenstände. Auch diese Anwendung der Zunge wird durch die Vollkommenheit der menschlichen Hand entbehrlich gemacht; um so bedeutender sind die Zwecke, welche die Zunge in der Mundhöhle selbst erfüllt. Die menschliche Zunge übertrifft alle thierischen durch die Beweglichkeit ihrer Muskel und durch die Weichheit ihrer Bedeckungen; sie vermittelt daher den Geschmack, das Betasten der Mundhöhle und der Speisen, sowie die Fortschaffung der Nahrungsmittel auf die vollkommenste Weise. Aber als ein sehr bewegliches und feintastendes Organ tritt sie noch in besondere Beziehung zu den Tönen, welche in der Luftröhre des Menschen entstehen.

Wo Töne von Thieren hervorgebracht werden, da verdanken sie ihre Entstehung den Schwingungen gespannter Membranen. So werden sie unter den geradflügligen Insekten von den Heuschrecken theils durch Reiben der Hinterbeine an dem Hinterleibe oder den Flügeldecken, theils durch Aneinanderreiben der Flügeldecken selbst erzeugt. Aber bei den Reptilien, Vögeln und Säugethieren, welche durch Lungen athmen, setzt die ausgeathmete Luft die gespannten Häute in Schwingung. Bei den Säugethieren insbesondere, — und ebenso verhält es sich auch beim Menschen, — liegt in dem knorpligen Kehlkopf, welcher die Luftröhre oben beschließt, jederseits eine elastische Hautfalte, das Stimmritzenband. Diese Bänder ragen so von den Seiten gegen die Mitte hervor, daß zwischen ihnen nur eine schmale Spalte, die Stimmritze, übrig bleibt. Durch Bewegungen des Kehlkopfes kann die Stimmritze erweitert oder verengert, die Spannung der Bänder erhöht oder vermindert werden. Nach der Stärke des Luftstromes, nach der Weite der Ritze, nach der Spannung ihrer Bänder richtet sich nicht nur die Stärke, sondern auch die Höhe und der Klang der Stimme. Wir haben früher die Aehnlichkeit des Stimmorganes mit musikalischen Instrumenten erwähnt; wir haben gezeigt, wie die angesprochenen Stimmritzenbänder zunächst den Ton erzeugen, wie aber die

Digitized by Google

Luft des Schlundes, der Mund- und Nasenhöhle mitklingen und den Ton der Stimme verändern (I. 60). Hier muß gezeigt werden, wie die Zunge des Menschen auf die Stimmbildung einwirkt.

Die thierische Stimme entbehrt nicht den Unterschied der Höhe und Tiefe; er tritt melodisch in der Stimme der Vögel hervor. Aber kein Thier vermag den Tönen seiner Stimme diejenigen Verschiedenheiten zu verleihen, welche von den Bewegungen der Zunge abhängen. Die Mitlauter werden dadurch erzeugt, daß während der Stimmbildung theils die Zunge verschiedene Theile der Mundhöhle mit verschiedener Stärke berührt, theils die Lippen in verschiedener Weise einander oder den Zähnen genähert werden. Die Lippenlaute fehlen der thierischen Stimme nicht ganz, aber die Zungenlaute sind der menschlichen Stimme eigenthümlich und können nur von wenigen Vögeln nachgeahmt werden. Mit den Zungenlauten erhalten aber die Mitlauter überhaupt erst ihre volle Zahl und Schärfe, und insofern läßt sich gewiß behaupten, daß die menschlichen Stimmorgane sich durch die Fähigkeit, Mitlauter zu bilden, auszeichnen. Nur diese Mitlauter unterbrechen den gleichmäßigen Fluß der Stimme und geben ihr Gliederung, Artikulation; durch die Artikulation wird die Stimme der Thiere zur Sprache des Menschen erhoben.

Es springt in die Augen, wie bedeutend die Zunge als bewegliches und als tastendes Organ für die Bildung der Sprache ist; aber durch die Sprachbildung gewinnt sie noch eine weitere Wichtigkeit für den Sinn des Gehöres. Zunge und Ohr stehen in ähnlichem Zusammenhange wie Hand und Auge. Die menschliche Stimme dient nämlich nicht blos als der beste Ausdruck der menschlichen Gedanken und Gefühle; sondern sie ahmt auch durch ihre scharfe Gliederung alle Töne der umgebenden Natur nach. Auf solche Weise setzt sich der Mensch in nähere Beziehung zu den Tönen seiner Umgebung. Denn indem er diese Töne selbst in Sprache oder Gesang wiederholt, wird er

Digitized by Google

sich ihrer Höhe und Tiefe, ihrer Stärke und Schwäche schärfer bewußt; er fühlt weit klarer den Zusammenhang, welcher zwischen äußeren Tönen und dem Grunde seiner Seele besteht. So controliren sich gegenseitig Sprache und Ohr; und wenn wir früher sagten, im Klange der Körper sei vornehmlich die innere, unerklärte Eigenthümlichkeit ihrer Natur ausgeprägt (I. 65), so wird sich der Mensch offenbar erst durch seine Stimme klarer bewußt, wie Freude und Leid, Befriedigung und Begierde, Ruhe und Angst durch den Klang der Luft, der Steine, der Thiere und vor Allem der Menschen selbst in der Seele erregt werden. Auge und Hand lassen uns die Gestalt, das äußere Siegel der Individualität, erkennen; Ohr und Zunge vermitteln erst miteinander das volle Gefühl von der dunkeln, inneren Eigenthümlichkeit der uns umgebenden Individuen.

Die Verhältnisse des Kopfes und der Wirbelsäule, die Stärke und Länge der Beine, die Beweglichkeit und Kürze der Arme, überhaupt die ganze Einrichtung der Bewegungsorgane lassen für den unbefangenen Beobachter keinen Zweifel übrig, daß der Mensch ursprünglich für die aufrechte Stellung geschaffen und eingerichtet ist. Schon durch diese Stellung weicht der Mensch von allen Thieren ab; denn bei keinem einzigen Thiere ist, wie beim Menschen, die Ortsbewegung und das freie Greifen und Tasten genau zwischen den hintern und vordern oder zwischen den untern und obern Extremitäten vertheilt. Aber es erscheint uns noch viel wichtiger, daß alle Bewegungsorgane des Menschen zugleich auf seine höhere, geistige Natur hinweisen. Die Stellung des Kopfes am oberen Ende der Wirbelsäule kann nicht ohne ein höchst entwickeltes Gehirn gedacht werden, und das feine Tasten, welches durch die Hand und durch die Zunge ausgeführt wird, erhebt die Sinne des Gesichts und des Gehörs auf eine höhere Stufe. So wird durch die Bewegungsorgane des Menschen sowohl die Entwicklung der centralen Seelenthätigkeit als die Richtung der Seele auf die umgebende Natur angedeutet und vermittelt.

Digitized by Google

B. Die Centralorgane des Nervensystems.

Es ist schon im vorigen Abschnitte erwähnt worden, daß von den drei Abtheilungen des Wirbelthierhirnes die vorderste bei den Fischen am kleinsten ist, bei den Reptilien und Vögeln aber immer mehr an Größe zunimmt, und bei den Säugethieren die beiden anderen Abtheilungen, das Mittelhirn und das Hinterhirn, bedeutend an Masse überwiegt. Dieses Uebergewicht nimmt beim Menschen noch entschieden zu, und es kann nicht bezweifelt werden, daß das vordere oder große Gehirn im Verhältniß zum übrigen Gehirn und zum ganzen Nervensystem beim Menschen seine größte Ausdehnung erreicht. Ueberdieß aber wird das ganze Gehirn im Verhältniß zum übrigen Nervensysteme beim Menschen massiger, als bei irgend einem Thiere. Betrachtet man nun das Gehirn als den centralen Theil des Nervensystems, als das Organ der Seelenthätigkeiten, das Vorderhirn aber als das Organ der höchsten, bewußten Thätigkeiten der Seele, so weist die Ausbildung des menschlichen Gehirnes darauf hin, daß die Seelenthätigkeiten überhaupt und die höheren Seelenthätigkeiten insbesondere beim Menschen sich vollkommener entwickeln, als bei allen Thieren, vollkommener, als z. B. bei den höchsten Affen.

Diese Ausbildung des Gehirns trifft zusammen mit der Größe des menschlichen Schädels, welche selbst wieder in der genauesten Beziehung zur aufrechten Stellung des Menschen steht. Aber darum darf der Schädel doch nicht als eine blose Hülle des Gehirnes angesehen werden, welche mit dem Gehirn größer oder kleiner wird. Betrachtet man den Schädel der niedersten Wirbelthiere, der Fische, so wird dieser vom Gehirne bei Weitem nicht ausgefüllt, und er enthält daher über dem Gehirn noch eine halbflüssige, markähnliche Masse. Bei den Reptilien schmiegt sich das Gehirn schon mehr dem Schädel an; aber erst bei den Vögeln liegt es durchaus an der inneren Oberfläche der Schädelknochen. Der Schädel bedarf als Theil des

Digitized by Google

Skeletes eine gewisse Größe, welche zum Gleichgewichte der einzelnen Körpertheile, zum Ansatze von Muskeln und Bändern paßt. Ebenso richtet sich die Masse des Gehirns nur nach der Stellung, welche es im einzelnen Thiere als Centralorgan des Nervensystemes einnimmt. In der Gruppe der Vögel begegnen sich nun die Größe des Schädels und die Masse des Gehirnes so, daß beide Organe sich allseitig berühren. Bei den Säugethieren aber wächst das Gehirn, während die Größe des Schädels nicht in entsprechender Weise zunimmt. Die Vergrößerung wird beim Gehirne auf dieselbe Art ermöglicht, wie bei den absondernden oder athmenden Oberflächen, von welchen früher wiederholt gehandelt worden ist. Es scheint nämlich, daß für die höchsten Thätigkeiten des Gehirnes gerade die oberflächliche Schichte dieses Organes von besonderer Bedeutung ist, und daher legt sich diese Schichte am großen Gehirn der Säugethiere in Falten, um in einem gegebenen Raume für das Organ der höchsten Thätigkeiten eine größere Ausdehnung zu gewinnen. Die hohe Ausbildung des menschlichen Gehirnes zeigt sich nun nicht blos in seiner größeren Masse, welche dem weitern Schädel entspricht, sondern zugleich in der großen Zahl und Mannigfaltigkeit der oberflächlichen Falten oder Windungen des Vorderhirnes.

Es geht aus dieser Betrachtung hervor, daß Schädel und Gehirn selbständige Organe sind, welche sich nach ihren eigenen Gesetzen entwickeln; aber als Theile eines und desselben Organismus wirken beide doch vielfach auf einander ein und verändern ihre Form eines um des andern willen. Am meisten schmiegt sich das Gehirn der Form des Schädels an. Bei den Fischen und Reptilien liegt es als eine längliche Masse auf dem Grunde der Schädelhöhle, und Vorderhirn, Mittelhirn und Hinterhirn folgen in gerader Linie auf einander. Mit der Vergrößerung aber, welche das Gehirn bei den Vögeln erfährt, dehnt sich das Gehirn und der Schädel nicht in die Länge aus; sondern das Gehirn fängt an, den Raum zu erfüllen, welcher

Digitized by Google

vorher im oberen Theil des Schädels frei geblieben war. Darum wächst das Vorderhirn bei den Vögeln nicht nach vorn, sondern nach oben und hinten, und es fängt an, das Mittelhirn zu bedecken. Bei den Säugethieren schreitet dieses Wachsthum weiter; aber erst beim Menschen erreicht es seine höchste Stufe, und das Vorderhirn bedeckt nicht nur das Mittelhirn, sondern auch völlig das hintere oder kleine Gehirn. Wenn man das menschliche Gehirn von oben betrachtet, so ist nur das große Gehirn sichtbar; das kleine liegt unter diesem in der Auswölbung des Hinterhauptes, welche den Menschen allein auszeichnet. Auf solche Weise erhält im Gehirne des Menschen derjenige Theil, welcher sowohl der bedeutendste als der größte ist, auch seiner Lage nach die oberste Stelle. Gehirn aber und Schädel runden sich zu dem Ovale ab, welches immer als ein wichtiges Moment in der Schönheit des menschlichen Hauptes erkannt worden ist.

Schädel und Gehirn stehen zu einander in derselben Beziehung, wie überhaupt die Organe eines und desselben Organismus; jedes ist zunächst um seiner selbst und dann um des andern willen vorhanden. Die Voraussetzung, auf welcher die Lehre der Kranioskopen beruht, widerspricht dieser klaren Thatsache. Wenn, wie Gall zuerst gelehrt hat, jede Hervorragung oder Vertiefung der Schädeloberfläche nur der Ausdruck eines entsprechenden Verhaltens des Gehirnes wäre, so könnte der Schädel nur die Schale, der Abguß des eingeschlossenen Organes sein. Wir sehen ab von denjenigen Umgebungen des Auges und des Ohres, an welche Gall Seelenorgane verlegt hat, ohne daß das Gehirn sich auch nur in der Nähe der bezeichneten Erhabenheiten des Schädels befände. Aber auch am freien Schädelgewölbe zeigen die Knochen ihre eigenen Hervorragungen und Vertiefungen, und nur in seinen größeren Dimensionen entspricht der Schädel der Form des Gehirnes; die Maaße der Breite, Höhe und Länge stimmen bei beiden nahezu überein. Hier wäre das Feld für kranioskopische Studien; aber bis jetzt

Digitized by Google

hat noch Niemand auch nur den ernstlichen Versuch gewagt, den Zusammenhang zwischen einem Uebergewichte der Höhe, Breite oder Länge des Gehirns und dem Vorherrschen einzelner Richtungen der Seele zu bestimmen. Es könnte sich bei solchen Bestimmungen nur vom großen Gehirne handeln; denn dieses erfüllt den oberen, zugänglichen Theil des Schädelgewölbes; wer könnte indeß von dem großen Gehirne des Menschen mehr als die gegründete Vermuthung aussprechen, daß es die centralsten, bewußten Seelenthätigkeiten vermittelt? Die Austheilung der einzelnen Seelenthätigkeiten an besondere Partieen des Gehirns ruht auf keiner einzigen Erfahrung und widerspricht ganz der idealen Natur der Menschenseele, welche sich weniger in der Thätigkeit einzelner Hirntheile, als in dem harmonischen Zusammenwirken aller Theile ihres Organes offenbart.

Während das menschliche Gehirn sowohl an Masse als an Ausbildung der Form alle thierischen Gehirne übertrifft, bleibt das menschliche Rückenmark auffallend in seiner Entwicklung zurück. Wir haben gezeigt, bis zu welchem Grade die Schwanzwirbel des Menschen verkümmern. Dieser geringen Ausbildung des unteren Endes der Wirbelsäule entspricht die Verkürzung des Rückenmarkes. Bei den Thieren erstreckt sich das Rückenmark bis in die Bauch- und Kreuzgegend der Wirbelsäule; aber beim Menschen erreicht es nur den Bogen des zweiten Bauchwirbels; der ganze Rest des Wirbelkanales nimmt nur große Nervenstämme in sich auf. So treten auch in dieser Beziehung das obere und das untere Ende des Körpers beim Menschen in den schärfsten Gegensatz. Bei dem schon genannten Lanzettfischchen (II. 452) stellen die Centralorgane des Nervensystems nur einen gleichförmigen Strang dar, welcher an der Rückenseite des Thieres verläuft; das vordere Ende dieses Stranges wird nur durch den Ursprung der hauptsächlichen Sinnesnerven als Gehirn bezeichnet. Im Menschen verkümmert das hintere Ende dieses Stranges und zieht sich aus dem hinteren Theile des Wirbelkanales zurück; das vordere Ende hingegen schwillt

Digitized by Google

zum Gehirn an, welches nun nicht mehr als eine Abtheilung jenes Stranges, sondern als das oberste und herrschende Organ im Bereiche des Nervensystemes sich darstellt. Das Uebergewicht, welches die Ganglienmasse des Gehirns über alle anderen Ganglien schon im Kreise der Wirbelthiere gewinnt, erreicht beim Menschen seine höchste Stufe. Im Gehirne selbst aber wird das Vorderhirn gleichermaßen übermächtig, und es zeigt sich hierin deutlich, wie im menschlichen Körper der ganze Nachdruck und die oberste Herrschaft in jenem Organe ruht, welches die bewußten Seelenthätigkeiten vermittelt.

Die Centralorgane des Nervensystemes und die Organe der Bewegung stellen den Menschen gleicher Weise auf eine eigene, höhere Stufe. Ihre volle Bedeutung gewinnen jene Organe erst durch die Betrachtung der menschlichen Seele. Aber um den natürlichen Gegensatz zwischen Mensch und Thier in seiner ganzen Ausdehnung zu erörtern, muß noch

C. Die geographische Verbreitung des Menschengeschlechtes

abgehandelt werden.

Wer die extremen Formen des menschlichen Körpers allein ins Auge faßt, der kann leicht zu der Ansicht verleitet werden, das menschliche Geschlecht zerfalle in verschiedene Species, und Neger, Mongolen und Europäer seien in wesentlichen Beziehungen von einander verschieden (II. 51 ff.). Diese Meinung ist in der That von vielen Naturforschern angenommen und vertreten worden; aber seit der Begriff der Species sich bestimmter festgestellt, seit die Kenntniß der Menschenrassen sich fast über alle bewohnten Länder verbreitet hat, wird die Ueberzeugung immer allgemeiner, daß alle Menschen nur Einer Species angehören. Es spricht hiefür einmal die Thatsache, daß die Rassen keineswegs so scharf von einander geschieden sind, wie man anfänglich glaubte; was man als besondere Species bezeichnete, sind nur die äußersten Extreme der Bil-

Digitized by Google

dung, und zwischen diesen liegen zahlreiche und zusammenhängende Uebergangsformen. Insbesondere spricht aber für die Einheit der menschlichen Species die unbegränzte Mischbarkeit ihrer Varietäten (II. 55); durch Vermischung der Menschenrassen entstehen nie unfruchtbare Individuen, nie wirkliche Bastarde.

Wenn hienach alle menschlichen Individuen Mitglieder Einer Species sind, so bedeutet dieß weiterhin, daß sie alle in ihren wesentlichen Eigenschaften mit einander übereinstimmen. Die menschliche Species ist also gegen das Thierreich hin scharf abgegränzt, und man ist nicht berechtigt, irgend eine Rasse als Uebergang vom Thiere zum Menschen darzustellen. Ebenso wenig steht die eine Rasse, z. B. die Negerrasse, in wesentlichen Eigenschaften tiefer als die übrigen. Alle Rassen theilen die Eigenschaften, welche den Menschen als Menschen charakterisiren, und ihr Unterschied entspringt nur aus dem Uebergewichte, welches der Schöpfer bald der einen, bald der andern Seite der menschlichen Natur gegeben hat. Daraus folgt nun aber ferner, daß wir von allen Menschen annehmen können, sie seien von Einem Mutterorganismus ausgegangen (II. 54). Die biblische Lehre, nach welcher alle Menschen von Einem Paare entsprungen sind, widerspricht also keineswegs den Thatsachen von der specifischen Gleichartigkeit des menschlichen Geschlechtes. Die Schwierigkeit, welche zurückbleibt, ist nur eine geographische; es handelt sich nämlich darum, zu erklären, wie die Menschen an alle Theile der Erdoberfläche von Einem Punkte aus gelangt seien. Wir behalten die Erörterung dieser Frage dem Ende dieses Kapitels vor.

Wenn wir die Verschiedenheit der menschlichen Gestalt nur als Varietäten Einer Species betrachten können, so muß nothwendig eine Urform gedacht werden, aus welcher sich die Varietäten entwickelt haben. Es stehen uns aber keine Anhaltspunkte zu Gebot, um über jene Urform der Menschen etwas Näheres auszusagen; denn so weit genauere Schilderungen oder Abbildungen der menschlichen Gestalt hinaufreichen, haben immer

Digitized by Google

schon Menschen von abgeleiteter Form die Erde bewohnt. Aber von den Ursachen, durch welche die ursprüngliche Gestalt des Menschen verändert und die Rassenverschiedenheit hervorgebracht worden ist, läßt sich doch Einiges angeben. Denn hier stehen uns Erfahrungen theils aus der Geschichte der Menschenrassen selbst, theils aus der Beobachtung der thierischen Rassen zu Gebot. Unter den Säugethieren nämlich, welche als Hausthiere dem Menschen besonders dienen, haben sich im Laufe der Jahrhunderte und unter den Augen der Menschen Varietäten entwickelt, welche den menschlichen Rassen an Verschiedenartigkeit durchaus nicht nachstehen. Es müssen hier besonders die Rassen der Species Hund und Pferd erwähnt werden. Bei dieser geschichtlichen Rassenbildung haben vorzüglich zwei Momente, nämlich theils das Klima, die Verhältnisse der äußeren Temperatur und Feuchtigkeit, theils die Beschäftigungen und die Lebensweise der Menschen oder Thiere bedeutend eingewirkt. Sind aber einmal die Varietäten gebildet, so erhalten sie sich unter gleichbleibenden Verhältnissen auch bei neuen Generationen; und wenn die Varietät eine längere Reihe von Generationen durchlaufen hat, so ist sie genug fixirt, um auch unter veränderten äußeren Verhältnissen fortzudauern und sich auf neue Generationen zu übertragen. Diese Beständigkeit des Rassencharakters läßt sich bei Pferden und Hunden leicht beobachten. Man braucht sich daher nicht zu wundern, daß der Neger oder der Europäer in einem anderen Klima ihre Bildung nicht verändern; denn die thierische Rasse, z. B. das arabische Pferd, der Windhund, verhält sich ganz auf dieselbe Weise.

Unter den Charakteren der menschlichen Rassen erscheint als der veränderlichste die verschiedene Hautfarbe. Sie ist schwarz beim Neger, braun beim Malayen, schmutzigbräunlich beim Mongolen, kupferroth beim Amerikaner, fleischfarbig beim Europäer. Die Farbe des Haares stimmt in der Regel mit der Hautfarbe überein; je lichter die Haut, desto lichter sind auch die Haare. Veränderungen in der Hautfarbe scheinen

Digitized by Google

besonders durch die Höhe des Wohnortes über dem Meere hervorgebracht zu werden. Stämme, welche ursprünglich Hochgebirge bewohnten und von dort in niedere Flußthäler oder an die Meeresküsten herabgestiegen sind, haben im Laufe vieler Jahrhunderte statt ihrer ursprünglichen, lichten Haut- und Haarfarbe eine dunkle, sogar schwärzliche bekommen. Ein merkwürdiges und wohlbeobachtetes Beispiel von dieser Veränderung stellen die jetzigen Bewohner Hindostans dar. So weit sie das untere Thal des Ganges und Indus bewohnen, sind sie dunkelfarbig und schwarzhaarig; aber der Urstamm der Hindu, die Kafir, welche noch jetzt am Hindu-Kuh leben, haben ihre lichte Hautfarbe und ihr blondes Haar behalten. Es scheint bei dieser Veränderung sowohl die größere Feuchtigkeit als die höhere Temperatur der Niederungen einzuwirken. Denn an anderen Orten hat das eine oder das andere dieser Momente für sich Aehnliches bewirkt. Die Bewohner des abyssinischen Königreichs Tigre sind ursprünglich eingewanderte, südarabische Stämme. Aber das wärmere afrikanische Klima hat in vielen Jahrhunderten ihre Farbe so verändert, daß sie an Schwärze den benachbarten Negerstämmen gleichen. Es liegen in der Geschichte der Menschenrassen selbst Andeutungen genug vor, um die Veränderungen der Hautfarbe aus klimatischen Einflüssen zu erklären.

Der zweite Rassencharakter, nämlich die verschiedene Form der Haare, findet in mehreren Thierrassen seine genügende Erläuterung. Man unterscheidet das schlichte Haar der Mongolen und Amerikaner, das lockige der Malayen und vieler Europäer und das wollig gekräuselte der Aethiopier. Daß die ersten beiden Formen häufig in einander übergehen, lehrt bei uns die tägliche Erfahrung; aber schwieriger ist die Entstehung des wolligen Haares zu erklären. Unter den Thieren, welche wegen ihres feinen, gekräuselten Haares, wegen ihrer Wolle vorzüglich geschätzt werden, steht das Schaaf obenan. Aber unter gewissen Umständen geht die Wolle des Schaafes in starke und grobe Haare über. So verhält sich z. B. die Wolle der

Digitized by Google

westindischen Schaafe; und da kein Zweifel ist, daß diese von englischen oder spanischen Schaafen abstammen, so muß angenommen werden, daß ihre Wolle durch den veränderten Einfluß des Klima's allmählig in gewöhnliches Haar umgewandelt worden ist. Aehnliche Beobachtungen sind bei der Ziege oder beim Hunde leicht anzustellen; aber das Gesagte reicht hin, um zu beweisen, daß äußere Einflüsse die Form des Haares bedeutend verändern können. Was bei den Thieren geschieht, muß auch beim Menschen als durchaus möglich angesehen werden.

Der wichtigste Rassencharakter liegt endlich in der Form des Skeletes; wir heben hier indeß nur die verschiedene Form des Kopfes hervor; sie bezieht sich theils auf den Schädel, theils auf die Knochen des Gesichtes. Die Extreme der Schädelform werden vom Neger und vom Mongolen dargestellt. Bei jenem ist der Schädel länglich und schmal, das Hinterhaupt und die Stirn ausgewölbt; beim Mongolen ist er breit und kurz, an Stirn und Hinterhaupt flach. Die Mitte zwischen diesen beiden Extremen hält der Schädel des Europäers mit ovalem Umriß und breiter Wölbung von Hinterhaupt und Stirne. Auch die Entwicklung der Gesichtsknochen hält drei Richtungen ein. Bei den Negerstämmen treten die Kinnladen stark nach vorne hervor; die Nase wird schmal und platt, die Lippen wulstig. Bei den Mongolen wird das ganze Gesicht auffallend platt; aber die Wangenknochen bilden starke seitliche Hervorragungen und geben dem Gesicht eine bedeutende Breite. Erst beim Europäer treten die Kinnladen sowohl nach ihrer Länge, als nach ihrer Breite unter den Schädel zurück; die Augen liegen tiefer unter der Stirn; die Nase wölbt sich freier hervor. Wir geben hier nur einige extreme Bildungen an; auf den Zwischenstufen verbinden sich die Schädelformen mit den Gesichtsformen in mannigfaltigster Weise.

Auch die Verschiedenheit des Skeletes widerspricht nicht der Einheit der menschlichen Species. Innerhalb wohlbegränzter Thierarten kommen Unterschiede der Körpergestalten vor, hinter

Digitized by Google

Digitized by Google

Luft des Schlundes, der Mund- und Nasenhöhle mitklingen und den Ton der Stimme verändern (I. 60). Hier muß gezeigt werden, wie die Zunge des Menschen auf die Stimmbildung einwirkt.

Die thierische Stimme entbehrt nicht den Unterschied der Höhe und Tiefe; er tritt melodisch in der Stimme der Vögel hervor. Aber kein Thier vermag den Tönen seiner Stimme diejenigen Verschiedenheiten zu verleihen, welche von den Bewegungen der Zunge abhängen. Die Mitlauter werden dadurch erzeugt, daß während der Stimmbildung theils die Zunge verschiedene Theile der Mundhöhle mit verschiedener Stärke berührt, theils die Lippen in verschiedener Weise einander oder den Zähnen genähert werden. Die Lippenlaute fehlen der thierischen Stimme nicht ganz, aber die Zungenlaute sind der menschlichen Stimme eigenthümlich und können nur von wenigen Vögeln nachgeahmt werden. Mit den Zungenlauten erhalten aber die Mitlauter überhaupt erst ihre volle Zahl und Schärfe, und insofern läßt sich gewiß behaupten, daß die menschlichen Stimmorgane sich durch die Fähigkeit, Mitlauter zu bilden, auszeichnen. Nur diese Mitlauter unterbrechen den gleichmäßigen Fluß der Stimme und geben ihr Gliederung, Artikulation; durch die Artikulation wird die Stimme der Thiere zur Sprache des Menschen erhoben.

Es springt in die Augen, wie bedeutend die Zunge als bewegliches und als tastendes Organ für die Bildung der Sprache ist; aber durch die Sprachbildung gewinnt sie noch eine weitere Wichtigkeit für den Sinn des Gehöres. Zunge und Ohr stehen in ähnlichem Zusammenhange wie Hand und Auge. Die menschliche Stimme dient nämlich nicht blos als der beste Ausdruck der menschlichen Gedanken und Gefühle; sondern sie ahmt auch durch ihre scharfe Gliederung alle Töne der umgebenden Natur nach. Auf solche Weise setzt sich der Mensch in nähere Beziehung zu den Tönen seiner Umgebung. Denn indem er diese Töne selbst in Sprache oder Gesang wiederholt, wird er

Digitized by Google

welchen die menschlichen Rassencharaktere weit zurückbleiben. **Wir** erwähnen hier nur die Kopfform der Bulldogge und des Windhundes, die Körperform des Dachses und des Hühnerhundes, die Verschiedenheiten des englischen und des schottischen Pferdes. Aber auch in der Geschichte der menschlichen Rassen selbst kommen Beispiele vor, wo sich an einer allmähligen Umwandlung der Körperform und insbesondere der Physiognomie kaum zweifeln läßt. Alles spricht dafür, daß die Türken, welche jetzt Kleinasien und die europäische Türkei bewohnen, ihren Ursprung mit den tartarischen Stämmen des nordwestlichen Asiens theilen. Die letzteren Stämme weichen in ihrer Physiognomie nicht von den mongolischen Nationen Asiens ab; die europäischen und vorderasiatischen Türken hingegen sind in jeder Beziehung den Völkern Europa's ähnlich geworden. Die völlige Umwandlung der Lebensweise, der Uebergang aus Nomaden in Städtebewohner hat bei den Türken diese Veränderung der Physiognomie wahrscheinlich zu Stande gebracht. Jedenfalls hat der Rassencharakter, welcher in den Formen des Skeletes begründet ist, zu seiner Firirung die dauerndsten und stärksten äußeren Einflüsse bedurft. Klima und Lebensweise wirkten hier ohne Zweifel zusammen. Aber gerade bei diesen tiefsten Umwandlungen der ursprünglichen Menschengestalt muß immer noch besonders im Auge behalten werden, daß die Urform des menschlichen Körpers äußeren Eindrücken viel zugänglicher, mannigfachen Abänderungen viel geneigter war, als die abgeleiteten und in ihrer Einseitigkeit firirten Menschenrassen. Je weiter eine organische Metamorphose überhaupt fortschreitet, desto mehr befestigen sich die Formen bis in die einzelsten Züge hinaus.

Wie der Mensch die chemischen und physikalischen Beziehungen zum Planeten mit den Thieren und mit den Organismen überhaupt theilt, so treten auch die Hauptverschiedenheiten der menschlichen Gestalt in genauen Zusammenhang mit den **Abtheilungen der Erdoberfläche**. Nur gehören den einzelnen Continenten blos Varietäten und nicht eigene Species des

Menschengeschlechtes an. Es ist am besten, auch in der Schilderung der Menschenrassen dem Bilde zu folgen, welches wir früher von der Erdoberfläche überhaupt entworfen haben (I. 299 ff.).

Das Hochland von Asien mit seinem südlichen, östlichen und nördlichen Abhange ist als Wohnsitz der Völkerschaften zu betrachten, welche unter der mongolischen Rasse zusammengefaßt werden. Wo diese Rasse sich in ihrer ganzen Schärfe ausprägt, vereinigt sie den kurzen und breiten, kubischen Schädel mit einem sehr flachen, an den Wangenbeinen stark hervortretenden Gesicht. Die Lippen sind flach, die Nase platt, die Augenhöhlen wenig vertieft, die Augenliedspalten eng, nach außen ansteigend, das Gesicht rautenförmig, in der Gegend der Wangenbeine am breitesten, nach der Stirn und nach dem Kinne zu verschmälert. Das Haar ist schwarz, schlicht und dünn; die Hautfarbe weizengelb oder schmutzig bräunlich. Dieser Rasse gehören zwei Gruppen von Völkern an. Im Süden und Südosten wohnen die Tübetaner, die Stämme Hinterindiens, die Chinesen und die Völker der japanischen Inseln; ihr Hauptcharakter beruht in dem monosyllabischen Sprachstamme, welchem alle ihre Sprachen angehören. Im Norden und Nordwesten dagegen wohnen lauter Völker, welche tartarische Sprachen sprechen, am östlichsten die Tungusen, in der Mitte die eigentlichen Mongolen und am weitesten nach Westen die Turken bis zum Ural, zum kaspischen und schwarzen Meere. Ein westlicher Ableger der Turken sind die Osmanen, welche sich bis nach Kleinasien und Europa zwischen Stämme der kaukasischen Rasse eingeschoben haben. Wie an das Hochland Asiens sich im Norden Tiefländer anschließen, welche vom Ostkap mit geringer Unterbrechung bis zu den skandinavischen Gebirgen reichen, so setzt sich die mongolische Rasse in Nordpolarstämme fort, welche die wesentlichen Charaktere jener Rasse, aber in weniger extremer Weise erkennen lassen. Diese Stämme umfassen in Sibirien die Ostjaken und Samojeden, im nördlichen Europa aber die Lappen und Finnen, Nationen, welche früher die nörd-

liche Hälfte von Rußland und die ganze skandinavische Halbinsel inne hatten. Ein südlicher Ableger dieser Nordpolarstämme sind die Magyaren Ungarns; ihre Körperbildung hat sich, wie die türkische, mehr der Form der kaukasischen Stämme genähert.

Wenn so der asiatische Continent die Selbständigkeit seiner Ländermasse auch in der scharf ausgeprägten Form seiner Bewohner beurkundet, so verhält sich Amerika, der langgestreckte, eines centralen Hochlandes entbehrende Continent, auch in seinen Volksstämmen völlig anders. Die Rasse, welche Amerika bewohnt, ist von dem Nordpolarmeere bis zur Südspitze des Feuerlandes auffallend gleichförmig. Ihr Schädel ist breit, ihre Wangenknochen hervorstehend, ihr Haar schwarz und schlicht; in diesen drei Punkten gleichen sie der mongolischen Rasse. Aber ihre Haut ist kupferroth, und in der tieferen Lage der Augen, in der stärkeren Wölbung der Nase, in den volleren Lippen erinnern sie mehr an europäische Volksstämme. Jedenfalls gehört die amerikanische Rasse nicht zu den scharf ausgeprägten Varietäten des Menschengeschlechtes. Vergleicht man aber die nördlichsten Amerikaner, die Eskimo, theils mit den Nordpolarstämmen Asiens, theils mit den südlicher wohnenden Stämmen des amerikanischen Continentes, so findet zwischen Asien und Amerika ein fast ununterbrochener Uebergang in der Körperbildung statt, und wir glauben nicht zu irren, wenn wir mit vielen neueren Forschern die amerikanische Rasse als keine selbständige, sondern nur als einen eigenthümlich entwickelten Zweig der mongolischen Rasse betrachten. Die Näherung der Nordpolarländer Asiens und Amerika's bietet keine Schwierigkeit dar für die Auffindung des Weges, auf welchem asiatische Stämme in sehr frühen Zeiten nach Amerika hinübergewandert sind. Die amerikanischen Stämme dürfen also insofern nicht für Ureinwohner ihres Continentes erklärt werden, als ihr Rassencharakter sich wahrscheinlich schon in Asien theilweise ausgebildet und in Amerika erst vollends fixirt hat.

Wir haben dem Hochlande Asiens früher das afrikanische

Digitized by Google

Hochland gegenübergestellt. Die Höhen und alle Abhänge dieses Hochlandes sind von Stämmen der Negerrasse bewohnt, welche zur mongolischen im geraden Gegensatze steht. Ein langer und schmaler Schädel verbindet sich hier mit sehr hervortretenden Kinnladen. Die Augen rücken näher zusammen; die Nase wird schmal und platt, die Lippen dick gewulstet. Das Haar ist wollig gekräuselt, Haut- und Haarfarbe schwarz. Diese äthiopische Rasse reicht vom Südrande der Sahara bis zur Südspitze des Continentes. Aber ihre Charaktere sind hauptsächlich an den Seeküsten scharf ausgeprägt; im Hochlande sollen wohlgebildetere Stämme wohnen, und zu den letztern gehören auch die südlichen Kaffern, welche sich durch eine lichtere Hautfarbe und eine gewölbtere Nase von den eigentlichen Negern unterscheiden. Noch mehr weichen von diesen die Bewohner des südlichen Theiles von Afrika, die Hottentoten, ab; ihr Schädel wird breiter, und ihr platteres Gesicht erinnert etwas an die Stämme der mongolischen Rasse. Wichtiger sind indeß die Veränderungen, welche der Negertypus auf den Inseln Polynesiens erfährt. Alle Inseln, die zwischen der Ostküste Afrika's und zwischen der Westküste Amerika's liegen, Madagaskar, Ceylon, die Sundainseln und die Philippinen, Borneo, Celebes und die Molucken, endlich der australische Continent und alle Inseln der Südsee werden von Stämmen bewohnt, die sich mehr oder weniger den Negern annähern.

Alle diese Stämme sind schmalschädelig, mit vorspringenden Kinnladen; aber unter sich weichen sie wieder vielfach ab. Schon auf Madagaskar und dann auf dem Inselgürtel, der Neuholland im Norden umgibt, wohnen die schwarzen, kraushaarigen, plattnasigen Papua's. Neuholland selbst und das Innere der Molucken und Philippinen wird von den schlichthaarigen, rauchschwarzen Alfuru's spärlich bevölkert. Aber die größte Zahl der Inseln Polynesiens, und namentlich die nach Norden und Osten gelegenen, beherbergen die Malayen, welche mit den Negern noch den schmalen Schädel und die vorspringenden Kiefer

Digitized by Google

theilen, aber durch ihre bräunliche Hautfarbe, durch ihr lockiges schwarzes Haar und durch ihre stärker gewölbte Nase, überhaupt durch die schönere Gesichtsbildung wieder mehr an die Europäer erinnern. Die Malayen bewohnen vorzüglich die Sundainseln; aber sie fehlen auch auf Madagaskar nicht. Wir nehmen zwischen allen diesen Stämmen Polynesiens und zwischen den Negern des afrikanischen Continentes ein ähnliches Verhältniß an, wie zwischen den Bewohnern Amerika's und der mongolischen Rasse. Malayen, Alfuru's und Papua's erscheinen als Ableger der Negerrasse, welche in neuen Wohnsitzen eine weniger extreme Körperbildung erhalten haben. Unter allen entfernen sich die Malayen am weitesten von den eigentlichen Negern. Um vom afrikanischen Festlande auf die Inseln Polynesiens zu gelangen, mußten die Vorfahren der australischen Stämme natürlich kürzere oder längere Strecken des Meeres durchschiffen. Madagaskar lag am nächsten; allein auch die weiteren Wanderungen bleiben ganz im Bereiche der Möglichkeit, und es ist viel widersinniger, auf jeder Insel wieder die Erschaffung neuer Individuen anzunehmen, als durch absichtliche oder unfreiwillige Wanderungen die allmählige Ausbreitung dieser Stämme zu erklären. Der unvollkommenen Gliederung Polynesiens entspricht auch die Unselbständigkeit und der schwankende physische Charakter seiner Volksstämme.

So zeichnen sich die ausgebildeten Continente Asiens und Afrika's auch durch eigenthümliche, extreme Rassen aus; und an diese Rassen schließen sich zwei weitere, weniger ausgeprägte an, welche theils Amerika, theils das polynesische Inselreich bevölkern. Aber es bleibt noch Eine Rasse, die indoeuropäische oder kaukasische übrig. Sie ist nicht extrem, wie die mongolische oder äthiopische Rasse; aber ihre Charaktere sind nicht so unbestimmt, wie bei der amerikanischen und australischen Varietät. Sie stellt auf ganz bestimmte Weise das Gleichgewicht in der Bildung des menschlichen Körpers und namentlich des menschlichen Kopfes dar. Der Schädel ist weder schmal noch

Digitized by Google

breit, sondern gleichmäßig, oval gerundet. Die Kinnladen stehen nicht nach vorn, die Wangenknochen nicht seitlich hervor; sondern das Gesicht tritt am meisten unter den Schädel zurück; die Augen liegen tief, und die Nase wird stark gewölbt. Die Haare sind schlicht oder lockig, die Hautfarbe bald licht fleischfarbig, bald mehr bräunlich. Diese Rasse bewohnt die Landstriche, welche den asiatischen Continent mit dem afrikanischen verbinden, die Länder, welche ans Mittelmeer, an den persischen und arabischen Meerbusen gränzen (I. 303 ff.). Hier wohnen in den nördlichen Ländern lauter Völker, deren Sprache mit dem Sanskrit wesentlich verwandt ist, die Inder, die Perser und die Armenier, dann die Slaven, die Germanen und die Celten, endlich die Hellenen und Italer, welche im Alterthum vorzüglich geblüht haben. Zu den südlichen Stämmen aber gehören alle diejenigen, welche semitische Sprachen sprechen, vor Allem die Hebräer, dann die alten Phönicier, Assyrier und Chaldäer, die Araber, die alten Aegypter, die jetzigen Kopten, und vielleicht auch die übrigen Urbewohner der nordafrikanischen Küste.

Es ergibt sich auf den ersten Blick, daß dieses Mittelglied des afrikanischen und asiatischen Continentes die Stämme beherbergt, um welche sich in Bezug auf große Reiche, auf Wissenschaft, Kunst und Religion die Geschichte des Menschengeschlechtes von Anfang an gedreht hat. Warum sollte nicht diese Rasse, welche eigentlich die Mitte der alten Welt bewohnt, auch als der Mittelpunkt des menschlichen Geschlechtes betrachtet werden? Nach Asien und Amerika, nach Afrika und Polynesien hin hat sich die menschliche Bildung in Gegensätze entwickelt; aber in der kaukasischen Rasse tritt uns noch am meisten das harmonische Gleichgewicht der ursprünglichen Gestalt des Menschengeschlechtes vor Augen. Warum sollen wir sie nicht als die Rasse betrachten, welche der Urform noch am meisten gleicht? In der Mitte zwischen den Continenten der alten Welt mag die Wiege des Menschengeschlechtes zu suchen sein. Von dort wanderten die Stämme nach allen Seiten aus; und indem sie alle

Digitized by Google

bewohnbaren Länder der Erde bevölkerten, legten sie das Zeugniß ab, daß der Mensch nicht an einzelne Theile des Planeten gebunden ist, sondern daß der Schauplatz seiner Existenz und seines Wirkens sich über die ganze Erdoberfläche ausdehnt.

---

2) **Die menschliche Seele.** Alle körperlichen Vorzüge des Menschen reichen nicht hin, um diesem eine Stellung für sich anzuweisen. Die Bewegungsorgane, das Gehirn, die geographische Vertheilung ließen sich, wenn sie allein stünden, auch nur als einen gradweisen Vorzug des Menschen vor den Thieren, nicht als einen Beweis für seinen wesentlich höheren Charakter ansehen. Darum haben auch diejenigen, welche nur das Greifbare und den Sinnen Zugängliche für erfahrungsgemäß halten, den Menschen nur für ein höheres Thier erklärt. Aber nicht einmal bei den Thieren, Pflanzen und Steinen fällt Alles, was die Beobachtung lehrt, unter die unmittelbare, sinnliche Wahrnehmung, und noch viel mehr greift beim Menschen ein höheres, geistiges Princip in die Lebenserscheinungen vernehmlich ein. Diese höhere Erfahrung ist es, auf welche wir hier hinzuweisen haben.

In der Uebersicht des vorigen Abschnittes ist gezeigt worden, wie die thierische Seele sich ihrer Einheit, welche mit der Einheit des Individuums überhaupt zusammentrifft, nicht bewußt wird, wie aber die individuelle Einheit als unbewußter Trieb, als Instinkt, das Thier zur Erfüllung gewisser, jenseits des Individuums liegender Zwecke bestimmt. Diese Einheit tritt beim Menschen in das Bewußtsein selbst herein; der Mensch wird sich seiner Individualität bewußt; er ist ein selbstbewußtes Wesen. Diese Aufnahme der Individualität ins Bewußtsein zieht eine tiefe Kluft zwischen Mensch und Thier. Das Princip, das nur einzelne Thiere auf unbewußte Weise treibt und bestimmt, wird zu einem Besitze des menschlichen Bewußtseins selbst.

Wir haben den Grund aller Individualität nicht in die

Digitized by Google

Geschöpfe selbst, sondern in Gott als den Schöpfer und Erhalter der Welt gesetzt (I. 257). Hieran ändert sich nichts, wenn der Mensch sich seiner Individualität bewußt wird. Denn hiedurch gewinnt der Mensch keine Macht über seine Individualität; er vermag sich als Ganzes weder hervorzubringen noch zu erhalten; sondern er ist nur im Stande, die bewußte Thätigkeit seiner Seele gerade auf diese Einheit zu richten. Das Selbstbewußtsein wird somit nicht zu dem allgemeinen Mittelpunkte, um welchen sich alle Thätigkeiten des menschlichen Individuums drehen; sondern es wirkt als bestimmender Mittelpunkt nur innerhalb einer Gruppe von Thätigkeiten, welche als Seelenthätigkeiten bezeichnet werden. Es gewinnt also einen direkten Einfluß weder auf die Entstehung oder Erhaltung des Individuums überhaupt, noch auf seine Gestalt oder auf die Thätigkeiten des Stoffwechsels. Hiemit wird ein bekanntes Mißverständniß entfernt, als ob die Seele des Menschen im Stande wäre, nach bestimmten Zwecken seinen Leib zu bilden. Aber es wird auch der philosophischen Meinung begegnet, wonach ein Princip, welches dem menschlichen Selbstbewußtsein analog ist, ein blos begriffbildendes Princip im Stande wäre, Stoff und Gestalt, eine reale Welt der Dinge hervorzubringen. Der Mensch wird seine Individualität inne; aber dieses Innewerden setzt gerade das Bestehen der Individualität voraus, und darum kann hier, wie überall, der Grund der ganzen und vollen Existenz nicht im Individuum selbst, sondern nur in dem schaffenden und erhaltenden Gott gesucht werden. Das Selbstbewußtsein macht den Menschen nicht erst zu einem wesentlich Einen Geschöpfe; sondern es gibt ihm nur die sichere Kunde von seiner wesentlichen und ursprünglichen Einheit.

Wenn der Grund der individuellen Einheit im Menschen selbst läge, so würde dieser, indem er seine Einheit inne wird, seine Aufmerksamkeit immer nur auf sich selbst richten, und dann wäre allerdings das Gebet nichts Anderes, als eine blose Unterhaltung des Menschen mit sich selbst; jede religiöse Betrach-

Digitized by Google

tung wäre nichts Weiteres, als eine Beschäftigung des Menschen mit seinem eigenen Innern. Aber weil der Grund der menschlichen Individualität in Gott liegt, so wird der Mensch durch das Selbstbewußtsein über sich selbst als Individuum erhoben und auf Gott als den Grund seiner Existenz hingerichtet. Indem er sich seiner Einheit bewußt wird, tritt zugleich Gott, als der Grund dieser Einheit, vor seine Seele. So steht mit dem Selbstbewußtsein das Gottesbewußtsein des Menschen im nächsten Zusammenhang; und das letztere wird so wenig, als das erstere, vom Menschen selbst hervorgebracht; es ist von Gott ursprünglich in den Menschen gelegt als das Innewerden des Grundes, auf welchem seine ganze Existenz ruht. So setzen wir den Ursprung aller Religion in das angeborene Bewußtsein des Menschen von seinem göttlichen Ursprunge. Nur wo die bewußte Seele ununterbrochen auf den Einen Gott als den Grund ihres Seins gerichtet ist, da gewinnt die Religion ihre wahre Bedeutung und Kraft, und mit einer solchen Seele verkehrt Gott durch innere und äußere Offenbarungen; in der geoffenbarten Religion erneuert sich ununterbrochen der ursprüngliche Einfluß des göttlichen Wesens auf das Bewußtsein des Menschen.

Die innige Verbindung des Selbstbewußtseins mit dem Gottesbewußtsein prägt dem Handeln des Menschen seinen eigenthümlichen Charakter auf. Indem der Mensch sich seines göttlichen Ursprunges bewußt wird, erkennt er in sich die Berechtigung, als Individuum selbständig zu existiren (I. 259). Beim Thiere werden alle Bewegungsmotive durch unbewußte Triebe angeregt; aber der Mensch weiß sich mit dem Grunde aller Existenz fest verbunden, und er gewinnt dadurch die Kraft, sich selbst zu Handlungen zu bestimmen. Durch diese Selbstbestimmung ist der Mensch frei, und das allgemeine innere Motiv seiner Handlungen muß als Wille bezeichnet werden. Aber der menschliche Wille ist nicht unbedingt frei; er tritt im einzelnen Falle unter den Einfluß anderer Seiten der menschlichen

Digitized by Google

Seele. Wie nämlich den thierischen Trieben ein Maaß zur Seite steht, nach welchem das Thier die Beziehung der umgebenden Dinge zur Befriedigung seiner Triebe bestimmt, so ist in jeden Menschen ursprünglich ein Maaß gelegt, nach welchem er erkennt, was er in seinem Innern und in der Außenwelt zu fliehen oder zu begehren hat. Dieses Maaß richtet sich nicht nach einzelnen Seiten seiner Natur, wie die angeborenen Antipathieen und Sympathieen der Thiere; sondern es weist, gleich dem Bewußtsein des Menschen, auf den Grund seiner Existenz, auf Gott hin. Dieses Maaß ist das menschliche Gewissen. Das natürliche Maaß bestimmt die Thiere, nichts zu ergreifen, was ihre natürliche Existenz beeinträchtigen würde; durch das Gewissen wird sich der Mensch bewußt, welche Handlungen mit dem göttlichen Willen in Einklang oder in Widerspruch stehen.

Das Gewissen und der freie Wille machen den Menschen zum sittlichen Wesen; er folgt nicht unbewußt und mit Nothwendigkeit den Gesetzen, welche Gott in die Natur gelegt hat; sondern er handelt mit Bewußtsein, und er ist nicht durch eine Naturnothwendigkeit gezwungen, im Einklang mit dem göttlichen Willen zu handeln. Es gehört gerade zur freien Selbstbestimmung des Menschen, daß er auch gegen den göttlichen Willen handeln kann. Denn sein Wille ist zwar ein Ausfluß des göttlichen und ruht immer auf dem göttlichen; aber die einzelne Willensbestimmung des Menschen geht nicht von Gott, sondern von dem menschlichen Individuum selbst aus, und als ein freies, seiner relativen Selbständigkeit bewußtes Geschöpf wählt er im einzelnen Falle zwischen der Uebereinstimmung oder dem Widerspruch mit dem göttlichen Gesetze. So entwickelt sich im Bewußtsein des Menschen der Gegensatz von Gutem und Bösem. Er bezieht sich nur auf die menschlichen Willensbestimmungen, je nachdem diese aus der Uebereinstimmung des Individuums mit Gott oder aus der auf sich gerichteten und von Gott abgewendeten Individualität des Menschen hervorgehen.

Gut oder böse ist außer dem Menschen kein uns bekanntes

Digitized by Google

Geschöpf. Denn wenn das Thier in die Existenz anderer Thiere oder Pflanzen oder des Menschen selbst eingreift, so verstößt es hiebei nicht gegen göttliche Gesetze; vielmehr steht seine Thätigkeit ganz im Einklange mit der göttlichen Ordnung, welche dem Thiere als den Hauptzweck seiner Existenz eben die Erhaltung seiner Individualität vorgesetzt hat. Das Thier wird zu seinen Handlungen nicht durch ein inneres, einheitliches Princip, sondern durch einzelne Triebe bestimmt; darum erhebt es sich nicht zum sittlichen Wesen, und es ist verkehrt, sittliche Principien in das Leben der Thiere hineinzutragen. Reißende Thiere werden ebensowenig von einem bösen Principe geleitet, als giftige Schlangen oder Pflanzen; solche Eingriffe organischer Individuen in fremde Individualitäten hat es längst gegeben, ehe der Mensch erschaffen wurde, ehe also die menschliche Sünde die organische Welt verändern konnte. Noch gefährlicher ist es, die Vorgänge, welche an der Oberfläche unseres Planeten geschehen, Regen und Sonnenschein, Kälte und Wärme, mit dem Gegensatze des Guten und Bösen in Beziehung zu bringen. Der Planet wird noch viel mehr, als der Organismus, durch feste, göttliche Gesetze bestimmt.

Was die körperliche Existenz des Menschen beeinträchtigt, darf darum nicht für bös erklärt, das körperliche Behagen nicht mit dem sittlich Guten verwechselt werden. Denn die innigere Verbindung des Menschen mit seinem göttlichen Ursprunge gibt nicht blos seinem Bewußtsein den festen, inneren Mittelpunkt, seinen Handlungen die freie, innere Bestimmung, sondern sie gibt auch seinen inneren Bedürfnissen, seinen Gefühlen der Lust oder Unlust eine neue Begründung. Im Thiere werden diese Gefühle durch die Befriedigung oder Nichtbefriedigung der natürlichen Begierden erregt; aber im Menschen entsteht das wahre Gefühl der Befriedigung nur aus dem Bewußtsein der vollen Uebereinstimmung des eigenen Lebens mit der göttlichen Ordnung der Welt. Nach diesem höheren Selbstgefühl müssen die Beziehungen der Außenwelt zum

Digitized by Google

Menschen abgewogen werden. Was nur körperliches Mißbehagen erregt, thut darum der höheren Stimmung der Seele noch keinen Eintrag; die Uebereinstimmung des Menschen mit Gott wird nicht durch die Außenwelt, sondern durch seine eigenen Handlungen, durch die Regungen seines eigenen Innern gestört.

Wir haben das Gewissen als das Maaß bezeichnet, nach welchem das menschliche Bewußtsein die inneren Motive der Handlungen abwägt; das Gewissen zeigt dem Menschen, was er anzustreben, was er zu fliehen hat. Aber die Art und Weise, wie die menschlichen Zwecke erreicht werden können, wird durch das Gewissen nicht gelehrt. Wir unterschieden beim Thiere nicht blos angeborene Antipathieen und Sympathieen, welche den Trieben die Richtung aufs Aeußere geben, sondern auch ein inneres Maaß, welches die richtige Benützung der Bewegungsorgane zur Befriedigung der Triebe vermittelt. Dieses Wie der Handlungen hängt auch im Menschen von einem angeborenen Maaße höherer Ordnung ab. Dieses Maaß knüpft an den göttlichen Ursprung des Individuums an; es ist ein Abbild des Zusammenhanges, welcher im großen Ganzen zwischen dem Schöpfer und dem Geschaffenen und wiederum zwischen den Geschöpfen unter sich besteht. Der Mensch allein begreift den Zusammenhang zwischen Mittel und Zweck, zwischen Ursache und Wirkung; er unterscheidet Verwandtes von Nichtverwandtem, und er bestimmt nach diesen Maaßen die Wege, auf welchen er zur Erreichung seiner Zwecke gelangt. Dieses angeborene Maaß aller menschlichen Erkenntniß muß als Vernunft bezeichnet werden.

So schließen sich alle Seiten der menschlichen Seele aufs innigste an den göttlichen Ursprung des Menschen an. Den Mittelpunkt der Thätigkeiten bildet hier, wie beim Thiere, das Bewußtsein; aber dieses bleibt nicht, wie beim Thiere, blos auf einzelne Organe und Zustände gerichtet; sondern es nimmt die Einheit des Individuums selbst in sich auf, und erhebt sich

Digitized by Google

dadurch zum Selbstbewußtsein und zum Gottesbewußtsein. Ebenso kommt das Motiv zu allen bewußten Thätigkeiten der menschlichen Seele nicht von außen, unter der Form der Triebe; sondern es geht als Wille vom Individuum selbst aus. Die Aeußerungen dieses Willens aber werden, wie beim Thiere, in zweierlei Weise von angeborenen Maaßen geleitet; nur sind auch diese Maaße höhere, und zwar für die Motive der einzelnen Handlungen das Gewissen, für die zweckmäßige Ausführung der Motive aber die Vernunft. Es geht hieraus hervor, daß die innigere Vereinigung Gottes mit dem Menschen nicht erst durch die bewußte Thätigkeit des Menschen errungen wird, sondern vor allem Bewußtsein als ein Theil und als der eigentliche Mittelpunkt des menschlichen Wesens besteht. Darauf beruht also der wesentliche Unterschied des Menschen von allen anderen Geschöpfen dieser Welt, daß Gott nicht blos der Grund der menschlichen Individualität ist, sondern daß der Mensch auch seine Individualität selbstthätig und selbstbewußt mit dem Grunde ihrer Existenz in Beziehung setzt. Durch diese bewußte Vereinigung mit Gott erhebt sich die Individualität zur Persönlichkeit. Die Persönlichkeit geht allem Bewußtsein des Menschen voraus; der Mensch weiß sich ursprünglich eins mit seinem Schöpfer; aber die Persönlichkeit wächst innerlich und äußerlich, je mehr der Mensch durch seine freie Willensbestimmung in bewußten Einklang mit dem göttlichen Willen tritt. Die Seele, sofern sie ihre Verbindung mit Gott ursprünglich weiß, erhebt sich als menschlicher Geist über alle Thierseelen.

Wir haben die Seelenthätigkeiten des Menschen bis jetzt nur in ihrer Beziehung auf das höchste Wesen aufgefaßt, und wir glauben, daß nach diesen Erörterungen über die wesentliche Verschiedenheit von Mensch und Thier kein Zweifel mehr obwalten kann. Aber es muß jetzt noch gezeigt werden, daß der Unterschied des innersten Wesens der Seele auch ihre Aeußerungen, sofern sie vom Körper und namentlich vom Gehirne vermittelt werden, vielfältig ändert. Vor Allem hört beim Men-

Digitized by Google

schen die absolute Herrschaft der Triebe auf; denn der menschliche Wille vermag auch gegen die Befriedigung der körperlichen Begierden sich zu entscheiden. Dann treten die natürlichen Antipathieen und Sympathieen sehr in den Hintergrund; das Gesetz der Sittlichkeit ist das oberste für die menschlichen Handlungen, und es kann durchaus nicht als ein Mangel angesehen werden, daß der Mensch Nützliches und Schädliches in der umgebenden Natur nicht ohne Reflexion unterscheidet. Endlich prägt das Bewußtsein des ursächlichen Zusammenhanges der Dinge den menschlichen Handlungen eine bewußte Zweckmäßigkeit auf, welche den thierischen Bewegungen durchaus fehlt. Die menschliche Thätigkeit erhält also nach allen Seiten einen eigenthümlichen, höheren Charakter. Aber sie gewinnt auch neue Richtungen.

Die instinktmäßige Verbindung mancher Thiere zu größeren Gesellschaften verfolgt nur einen organischen Zweck, nämlich die Erzeugung und Pflege einer neuen Generation. Aber das Streben des Menschen geht mit Bewußtsein über das Individuum hinaus, und der bewußte, freiwollende Mensch vereinigt sich mit Menschen zur Ausführung höherer, geistiger Zwecke. So entstehen Gesellschaften, Staaten; aber die höchsten Zwecke umfassen das menschliche Geschlecht in seiner ganzen Ausdehnung. Als Mittel für diese Vereinigung ist dem Menschen vorzüglich die Sprache gegeben; ohne Geist könnte der Mensch nur gleich manchen Thieren die fremde Rede nachahmen; aber die selbstbewußte Seele gibt den Organen der Sprache erst ihren reichen Inhalt. Der Geist ist es, der durch die Sprache aus dem Innern hervorklingt, der durch das Gehör wieder zum Geiste des Andern spricht.

Die Biene legt ihre kunstvollen Baue an, ohne daß sie sich der mathematischen Regeln bewußt wird, welche in der Anordnung der Baue herrschen. Auch der Mensch handelt nach mathematischen Gesetzen, nach Formen und Zahlen; aber er weiß diese Gesetze; er ist im Stande, sie seinem Bewußtsein

Digitized by Google

im Zusammenhange vorzuführen. Insbesondere wird sich der Mensch bewußt, daß alle mathematischen Gesetze, welche er anwendet, überall in der Natur sich offenbaren, daß sie die Grundzüge der Gestalten der geschaffenen Dinge sind. Ueberall, in Gestirnen, in Steinen, Pflanzen und Thieren findet er feste Zahlen und Figuren, welche die äußere Form der Körper bestimmen. Hier gewinnt das Auge seine hohe Bedeutung; und was wir früher von der Verbindung des menschlichen Auges mit der menschlichen Hand gesagt haben, dieß kann hier erst ganz erklärt werden. Der Geist verbindet beide Organe und gewinnt durch sie die Anschauung der äußeren Gestalten und der mathematischen Gesetze, welche diesen zu Grunde liegen.

In den Verbindungen der Menschen unter einander gilt die Sittlichkeit als oberstes Gesetz. Für die Erkenntniß der mathematischen Grundformen wird das höchste Maaß von der menschlichen Vernunft gegeben. Im ersten Falle wirkt das Individuum über seine nächste Gränze hinaus aufs Allgemeine; im zweiten wird aus den mannigfaltigen Eindrücken der umgebenden Natur das Verwandte zusammengefaßt und von der bewußten Seele unter höheren Einheiten verbunden. Aber nicht blos die äußeren Anschauungen unterliegen so dem verbindenden und messenden Einflusse der Vernunft; sondern dasselbe geschieht mit allen Vorstellungen, welche durch die Außenwelt in der Seele hervorgebracht werden. Verwandtes wird im menschlichen Bewußtsein mit Verwandtem verbunden, Entgegengesetztes geschieden, der ursächliche Zusammenhang der Dinge erforscht; und so wird sich die Seele ihres erworbenen Besitzes erst wahrhaft bewußt, und sie wiederholt selbstthätig die Beziehungen, welche zwischen den Außendingen wirklich bestehen. Nur dadurch begreift der Mensch die Außenwelt; die Vorstellungen erheben sich zu Begriffen, das aufnehmende Vorstellen zum selbstthätigen Denken, das willkührliche Reflektiren des Thieres zum geregelten, menschlichen Verstande. Es sind ja dieselben Gesetze, welche die göttliche Weisheit in der Schöpfung überhaupt

Digitized by Google

geoffenbart und in die menschliche Vernunft als das Maaß des Denkens gelegt hat. Darum begreift zwar der Mensch als ein geschaffenes Wesen nicht den Zusammenhang und die Triebfedern der Schöpfung im Ganzen und Großen; aber im Einzelnen vermag er die göttlichen Gesetze des Geschaffenen stückweise zu verstehen. Wo sein Denken sich mit diesen Gesetzen in Uebereinstimmung befindet, da erscheint es als wahr.

Der Mensch erkennt demnach als vernünftiges Wesen die Offenbarung der göttlichen Weisheit in den Reichen der Schöpfung. Aber seine freiere Beziehung zur Außenwelt beschränkt sich nicht blos auf das Verstehen der geschaffenen Dinge; der Mensch setzt auch seine Vorstellungen in neue, ihm eigenthümliche Beziehungen, und durch diese selbstthätige Verbindung der Vorstellungen zum innern Bilde erhebt sich die menschliche Phantasie über die thierische Einbildung. Der Mensch setzt die Bilder seiner Seele der äußeren Wirklichkeit gegenüber, und er versucht, mit diesen Bildern auch in die umgebende Schöpfung zu treten, sie in dieser darzustellen. Er verwirklicht seine Phantasieen auf dieselbe Weise, auf welche sich dem Menschen die göttlichen Ideen in der Außenwelt vorzüglich offenbaren, durch den Schall in Sprache und Musik, durch Licht und Farbe in Gemälden, durch geformten Stoff in Bildhauerarbeiten. Wenn die Gestalt, welche der Mensch seiner innern Idee gibt, diesem ihrem Inhalte entspricht, wenn alle Theile jener Gestalt unter sich harmonisch zusammenstimmen, so darf das menschliche Werk als schön bezeichnet werden. So wenig aber die Wahrheit nur im menschlichen Begreifen besteht, ebenso wenig trägt der Mensch die Schönheit erst durch seine darstellende Phantasie in die Natur herein. Die Schönheit der menschlichen Werke ist nur ein Gegenbild der göttlichen Schönheit, welche uns aus dem Geschaffenen überall entgegentritt. Die göttliche Idee, welche alle Geschöpfe erfüllt, findet in den Gestalten der Geschöpfe ihren harmonischen Ausdruck; die reichste Entwicklung der Gestalten und zugleich die höchste Schönheit bietet sich im Pflanzenreiche dar.

Digitized by Google

So wird der Mensch durch sein Selbstbewußtsein und seine Selbstthätigkeit nicht blos zum Schöpfer in eine genauere Beziehung gesetzt, sondern auch gegenüber der umgebenden Schöpfung mit umfassenderer Kraft im Begreifen und im Handeln ausgerüstet. Schon durch seine körperliche Bildung steht er über allen organischen Geschöpfen; durch seine Verbreitung über den ganzen Erdkörper zeigt er sich unabhängiger von den Einflüssen einzelner Theile des Planeten. Aber sein Wille und seine Vernunft geben ihm überdieß die Fähigkeit, nicht nur nach Art der Thiere in fremde Individualitäten einzugreifen, sondern auch Thiere, Pflanzen, Theile des Planeten zu höheren, menschlichen Zwecken zu gebrauchen. Die Verwendung irdischer Substanzen zu Bauten, zum Schutze des Körpers, zu Kunstwerken findet ihre Andeutung schon in den instinktiven Thätigkeiten mancher Thiere, wie besonders der nestbauenden Vögel. Aber durch die Herrschaft, welche der Mensch über die ganze organische Natur ausübt, steht er sowohl über den Pflanzen, als über den Thieren. Die Pflanzen und Thiere, welche der Mensch zunächst zu seinen Zwecken benützt, dienen ihm vorzüglich zur Nahrung; einzelne Thiere aber verwendet er auch zur Fortbewegung von Lasten; andere, wie der Hund, gewähren ihm äußeren Schutz. Die Kulturpflanzen, wie die Hausthiere, werden vom Menschen in Verhältnisse versetzt, welche von ihren natürlichen Verhältnissen vielfach abweichen. Sie erleiden dadurch keine wesentlichen, specifischen Abänderungen ihrer Natur; aber innerhalb des Kreises der Species entwickelt sich ihre Körperbildung auf eigenthümliche Weise. Aus der dauernden Einwirkung des Menschen sind die verschiedenen Spielarten der Kulturpflanzen, die verschiedenen Rassen der Hausthiere entstanden; jede dieser Varietäten dient dem Menschen wieder auf ihre eigenthümliche Weise.

Der Mensch erscheint durch sein Selbstbewußtsein, durch seinen freien Willen, durch sein Gewissen und seine Vernunft als das höchste Geschöpf in dem Kreise unserer Erfahrung.

Digitized by Google

Der Planet und das organische Reich greifen in seine Natur ein; aber sie stehen nur im Dienste eines höheren Principes, der geistigen Persönlichkeit. Wie der Organismus die planetarischen Stoffe unter einem neuen Gesetze vereinigt, so werden im Menschen die organischen Thätigkeiten auf einen neuen Mittelpunkt hingerichtet. Mit seinem freien Willen tritt der Mensch aus dem Gebiete der Naturnothwendigkeit heraus. Die Organe, durch welche er thätig ist, sind dieser wohl noch unterworfen; aber das Motiv der Handlung gehört der freiwirkenden Seele an. So wird der Mensch in Bezug auf die Motive seiner Handlungen auf sich selbst gestellt. Als Maaß steht ihm Gewissen und Vernunft zur Seite; aber er ist weit entfernt, ein absolut gutes und absolut weises Geschöpf zu sein; vielmehr ist er der Versuchung zum Bösen und dem Irrthume vielfach preisgegeben. Dadurch wird der Mensch in seiner Thätigkeit viel weniger sicher, als das unvernünftige, von Trieben geleitete Thier; er schwankt zwischen den verschiedenen Zwecken und zwischen den verschiedenen Mitteln ihrer Ausführung. Darum wird der Mensch nicht nur von dem allmächtigen und allweisen Gott geschaffen und erhalten; Gott gewährt nicht nur dem Menschen, wie allen Individuen, vermöge seiner Güte das Recht der eigenthümlichen Existenz; sondern die göttliche Güte erhebt sich hier zur Liebe, welche den irrenden Menschen leitet und hält. Wenn die Seele sich immer dieser göttlichen Liebe bewußt bleibt, so weiß sie, daß Gott ihr in allem Handeln zur Seite steht, daß er die Verirrungen verzeiht und nicht mit unbeugsamer Strenge ahndet.

So führt die Erhabenheit der menschlichen Natur wieder zu einer inneren Hilfsbedürftigkeit, wie sie sonst keinem Geschöpfe eigen ist. Nicht blos das Selbstbewußtsein ist aufs innigste mit dem Gottesbewußtsein verbunden, sondern auch die ganze sittliche Existenz des Menschen ruht völlig auf der stärkenden und begnadigenden Liebe des Schöpfers. Diese Liebe ist durch die Geburt, durch das Leben und Sterben des Got-

tessohnes im höchsten Maaße besiegelt worden. Erst im Christenthume durchdringt sie das ganze Leben der menschlichen Seele und erhebt den Menschen wieder zu dem Zustande, welcher ihm ursprünglich beschieden war, zur wahren Gemeinschaft mit Gott.

Uebersicht.

Die Betrachtung der menschlichen Seele hat uns *zum höchsten* Gipfel der geschaffenen Welt, zu jenem Punkte geführt, wo der Mensch mit Gott in dauernder Wechselwirkung steht. Es ist nicht mehr die Aufgabe der Naturbetrachtung, sondern es ist der eigentliche Mittelpunkt der Geschichte des Menschengeschlechtes, die Wege darzustellen, welche der Mensch als sittliches und vernünftiges Wesen, geführt und gehalten durch die Macht, Weisheit und Liebe des Schöpfers, im Laufe der Jahrtausende gewandelt hat. An jenem Berührungspunkte zwischen dem Reiche des Natürlichen und dem Reiche der Sittlichkeit und des Geistes mußte daher innegehalten werden. Aber es ist nothwendig, von diesem Punkte aus noch einmal auf alle Stufen der Betrachtung zurückzublicken. Der Gang unserer Beweisführung wird dann noch klarer aus den Einzelheiten der Untersuchung hervortreten.

Das erste allgemeine Resultat, welches sich aus der Betrachtung der Natur ergibt, ist die Gesetzmäßigkeit, die alles Geschaffene durchdringt und regelt. Wir haben kein Gebiet der Natur übergangen; denn es war vorzüglich nothwendig, die Gesetzmäßigkeit auch wirklich als eine Alles umfassende nachzuweisen. Auf diese Nachweisung zielt der Hauptinhalt der früheren Abschnitte hin; in der Schilderung der Naturkräfte, der Gestirne, der Pflanzen, der Thiere und des Menschen haben wir immer diesen Zweck verfolgt. Die Gesetzmäßigkeit des Geschaffenen ist eine doppelte. Als allgemeine Gesetzmäßigkeit besteht sie unabhängig von den einzelnen Naturkörpern, und wir

Digitized by Google

haben diese Seite derselben in dem Verhalten der allgemeinen Agentien, der Schwere und Cohäsion, des Magnetismus, der Elektricität und der chemischen Verwandtschaft, der Bewegung, des Schalles und des Lichtes ausführlich geschildert. Dieser allgemeinen Gesetzmäßigkeit steht eine besondere gegenüber; sie zeigt sich in dem Verhalten der einzelnen Naturkörper, der Individuen. –

Wir haben gezeigt, daß diese Individuen theils unter einander in bestimmte Beziehung treten, theils aber aus verschiedenen Theilen bestehen, die unter einander innig verbunden sind. An den Individuen muß also eine innere und eine äußere Gesetzmäßigkeit, eine Harmonie der Theile und eine Harmonie der Individuen unterschieden werden. Die innere Harmonie ist zuerst bei der Erde nachgewiesen worden; dort stellte sich klar heraus, wie der feste Erdkörper, die wäßrige Hülle und die Atmosphäre der Erde ununterbrochen nach sehr bestimmten Gesetzen auf einander einwirken, und wie diese Gesetze in den früheren Perioden der Erdbildung und jetzt stets dieselben geblieben sind. Bei den Organismen wird die innere Harmonie mannigfaltiger vermittelt. Die Gestalt der Individuen bleibt hier nicht mehr, wie bei den Gestirnen, geradezu durch die inneren Vorgänge bestimmt, sondern sie folgt einem eigenthümlichen Principe. So kommt zu der innern Harmonie der Thätigkeiten noch die gesetzmäßige Bildung der Gestalten und die harmonische Wechselbeziehung der Thätigkeiten und Gestalten hinzu. Die Gesetze der Gestalt treten im Pflanzenreiche vorzüglich in die Erscheinung; das innige Zusammenwirken verschiedener Thätigkeiten wird besonders klar in den thierischen Lebensprocessen.

Die äußere Gesetzmäßigkeit erscheint nirgends so großartig und erhaben, als in der Vereinigung der Gestirne zu umfassenden Systemen. In diesen existirt jedes Individuum zugleich durch sich und durch alle anderen, um seiner selbst und um aller anderen willen. Im organischen Reich hat das Individuum eine geringere Bedeutung für das Ganze; es ist für das Pflan-

Digitized by Google

zenreich und für das Thierreich weniger wichtig, ob ein Individuum untergeht oder neu hinzukommt. Darum nimmt aber doch jeder Organismus zu allen übrigen eine bestimmte Stellung ein, und diese gibt sich namentlich in der Weise zu erkennen, wie das Individuum die organische Gestalt an sich entwickelt. Formgesetze bedingen überwiegend die Systeme der Pflanzen *und* der Thiere. Im Kreise des Menschlichen erst tritt die Harmonie der Himmelskörper in einer höheren Form wieder auf; an der Stelle der Schwere wirkt die freie Vereinigung zu höheren, sittlichen und vernünftigen Zwecken. So steht innerhalb jedes Naturgebietes das Verwandte mit dem Verwandten in harmonischer, haltender und fördernder Beziehung. Aber auch die verschiedenen Gebiete existiren nicht blos um ihrer selbst, sondern das eine um des andern willen. Einzelne, pflanzenfressende Thiere dienen den reißenden Thieren zur Nahrung; aber das Pflanzenreich im Ganzen liefert die Stoffe, aus welchen die Thiere ihre Substanz erneuern. Das Pflanzenreich selbst zieht seine Nahrung aus den gasförmigen, tropfbarflüssigen und festen Theilen des Planeten. Dem Menschen endlich stehen Pflanzen- und Thierreich als Nahrungsquelle zu Gebot. Dieß sind nur die wichtigsten von den Wechselbeziehungen der Naturreiche; sie verfolgen in den angeführten Beispielen überwiegend Eine Richtung, vom Planeten durch das organische Reich zum Menschen. Sicher ist aber nach diesen Erörterungen, daß alle Individuen in einem gesetzmäßigen Zusammenhange unter einander stehen.

Diese innere und äußere Gesetzmäßigkeit bezieht sich auf die Theile Eines Individuums und auf die verschiedenen Individuen, so fern sie mit und neben einander existiren. Dieselbe Harmonie aber findet statt zwischen den aufeinanderfolgenden Zuständen Eines Individuums und zwischen den Individuen, welche nach einander in die Erscheinung treten. Jeder Zustand hat seine Bedeutung für sich; aber er ist durch vorhergehende Zustände bedingt, und er wirkt selbst wieder

Digitized by Google

bestimmend auf spätere Zustände ein. Ebenso treten neue Individuen nicht aus dem Kreise der Gesetzmäßigkeit heraus, welcher frühere Individuen verbunden hatte. Am innigsten ist der Zusammenhang, wenn von einem organischen Individuum ein neues entspringt; aber auch ohne diese direkte Verbindung bleiben die Individuen, trotz des Untergangs der einen und der Entstehung der anderen, die Träger der allumfassenden Gesetze der Thätigkeit und Gestalt. Es sind nur neue Weisen, in welchen das neue Individuum die dauernden Gesetze verwirklicht. Sofern aber jedes Individuum ein Glied in der Ordnung des Ganzen darstellt und zur Erhaltung dieser Ordnung beiträgt, werden auch die alten Individuen gleichsam die Unterlage der Harmonie, in welche die neuen eintreten. So dient jedes Individuum wieder den nachfolgenden, und dieß geschieht in besonderer Weise, wenn das untergehende Individuum dazu verwendet wird, die Substanz eines anderen als Nahrung zu erneuern.

Faßt man alle diese Punkte zusammen, so ist kein Zweifel, daß jeder einzelne Theil eines Individuums und jedes Individuum als Ganzes nur im Zusammenhang mit anderen, neben ihm bestehenden, oder ihm vorangehenden oder nachfolgenden Theilen oder Individuen existirt. Dieser Zusammenhang muß als ein allgemeiner, ausnahmsloser gedacht werden. Er bezieht sich aber auf zwei Seiten der Existenz. Einmal sind alle Individuen und alle Theile Eines Individuums durch gemeinsame Gesetze der Gestaltung unter einander verbunden. Dann greift jedes Einzelne durch seine inneren Vorgänge und Thätigkeiten in den Zusammenhang des Ganzen harmonisch ein. Dieser zweite Punkt ist hier von besonderer Bedeutung. Denn dadurch, daß der eine Theil, das eine Organ eines Individuums durch seine Thätigkeit die anderen fördert, daß der eine Proceß den folgenden vorbereitet, ist die Verknüpfung dieser Theile und Zustände eine zweckmäßige; und ebenso müssen wir eine bestimmte Zweckmäßigkeit in der Weise erkennen, wie der Lebensproceß des einen Individuums die Existenz anderer Individuen fördert,

Digitized by Google

wie der Planet für die Pflanze, die Pflanze für das Thier zur Nahrungsquelle wird. Unter dieser natürlichen Zweckmäßigkeit verstehen wir alle jene Fälle, wo das Einzelne, sei dieses nun eine Seite eines Individuums oder ein Individuum selbst, durch seine Thätigkeiten oder Vorgänge zur Harmonie der Gesammtheit beiträgt. Zweckmäßig ist die Bewegung eines Planeten in Bezug auf sein Sonnensystem, die Gestalt der pflanzlichen und thierischen Gewebe in Bezug auf ihre Thätigkeiten, der organische Stoffwechsel in Bezug auf die Erhaltung und Erneuerung des organischen Baues, die Thätigkeit der einzelnen Biene in Bezug auf das Streben des ganzen Stockes.

Wir können uns mit diesen Andeutungen begnügen; denn die früheren Abschnitte enthalten unzählige Beispiele von der Gesetzmäßigkeit und Zweckmäßigkeit der Naturreiche. Nirgends ist in dieser Gesetzmäßigkeit eine Lücke; sondern Ein harmonisches Band verknüpft alle geschaffenen Dinge. Hieraus muß nothwendig geschlossen werden, daß nicht mehrere Gesetze in der Natur herrschen, sondern daß ein einziges Gesetz, ein einziges, ordnendes und verbindendes Princip in allem Geschaffenen sich offenbart. Gegenüber von der Vielheit der natürlichen Dinge muß dieses Princip als eine Einheit aufgefaßt werden. Worin ist dieses Eine Princip der Gesetzmäßigkeit zu suchen? existirt es durch sich selbst oder durch einen außer ihm liegenden Grund?

Es ist ein altes Hilfsmittel, als Grund für die Existenz der Körper überhaupt und also auch für die Existenz ihrer Gesetzmäßigkeit eine ungeordnete und ungeformte Materie anzunehmen, welche erst nachträglich von Kräften und Gesetzen durchdrungen worden sei. Wir haben die Unstatthaftigkeit dieser Annahme schon früher bewiesen (I. 171), und es sei hier nur hinzugefügt, daß mit der Existenz der Materie die Existenz der gesetzmäßigen Anordnung noch nicht gegeben wäre; denn jene soll ja ungeordnet sein und das Gesetz erst von außen überkommen; für dieses wäre also jedenfalls noch ein anderer Grund

Digitized by Google

zu suchen. Diesen Grund glaubten Andere in den Naturkräften zu finden. In diesen prägt sich die allgemeine Gesetzmäßigkeit am reinsten aus; sie bestehen unabhängig von den besonderen Eigenthümlichkeiten der Körper. Aber um in diesen Kräften das einheitliche Princip der allgemeinen Gesetzmäßigkeit annehmen zu können, müßte eine einzelne Kraft als der Inbegriff aller anderen, als Grundkraft sich darstellen, von der alle übrigen nur besondere Erscheinungsformen wären. Daß es keine solche Grundkraft gibt, ist gleichfalls schon früher gezeigt worden (I. 168). Hier weisen wir noch überdieß darauf hin, daß auch eine solche Grundkraft die eine Seite der Gesetzmäßigkeit, nämlich die Gestaltungsgesetze der Individuen, nicht zu erklären vermöchte; sie würde höchstens für die Bewegungen und Thätigkeiten der Geschöpfe zur Erklärung hinreichen.

Innerhalb des Geschaffenen selbst konnte der Grund der Gesetzmäßigkeit nur in der Materie oder in den Naturkräften gesucht werden. Denn nur diese entsprechen durch ihre umfassende Bedeutung dem Principe, dessen Existenz erklärt werden soll. Nur bei barbarischen oder halbgebildeten Völkern war es möglich, in einzelnen, geschaffenen Individuen, in den Gestirnen, in Steinen, Pflanzen oder Thieren das göttliche Wesen selbst zu verehren. Alle Individuen der Natur geben sich zu sehr als besondere, beschränkte Geschöpfe kund, um als Grund der allgemeinen Harmonie der Schöpfung gelten zu können. Liegt nun dieser Grund weder in einer allgemeinen Substanz, noch in einer Grundkraft, noch in irgend einem geschaffenen Individuum, so fragt es sich zunächst: liegt er nicht gerade in der Gesammtheit, im harmonischen Beisammensein aller einzelnen Geschöpfe? Hier ist zunächst hervorzuheben, daß, wie wir früher an vielen Orten gezeigt haben, die einzelnen Individuen den Grund ihrer ganzen Existenz und also auch ihrer Gesetzmäßigkeit nicht in sich selbst tragen, sondern daß alle auf einen äußeren Grund für ihre abgeschlossene Existenz hinweisen (I. 257, 466). Die ganze Natur ist nun nichts Anderes, als die Summe aller

Digitized by Google

derjenigen Individuen, welche existirt haben, jetzt existiren und künftig existiren werden. Wie läßt es sich denken, daß einer Summe von Individuen eine Eigenschaft zukomme, welche allen einzelnen Individuen fehlt, daß also der Grund für die Gesetzmäßigkeit der Natur zwar nicht in den einzelnen Individuen, aber in ihrer Gesammtheit liege? Die Gesammtheit steht den Individuen zwar insofern gegenüber, als sie alle umfaßt; aber es fehlt ihr die wesentliche Einheit, welche wir vorhin dem Principe der allgemeinen Gesetzmäßigkeit zugeschrieben haben.

Wir werden so zu dem Schlusse gedrängt, daß der Grund der Gesetzmäßigkeit nicht innerhalb, sondern außerhalb der Natur gesucht werden muß. Dieses Resultat ist im Wesentlichen dasselbe, welches wir schon in der Uebersicht des ersten Abschnittes gezogen und dann in allen folgenden Uebersichten bestätigt gefunden hatten. Wir sind also genöthigt, als Grund für jene Gesetzmäßigkeit ein Princip anzunehmen, welches wesentlich Eins und von der Gesammtheit der Geschöpfe unterschieden ist. Hierin liegt offenbar zum ersten Male die Unterscheidung zwischen Welt und Gott, zwischen der Gesammtheit der Naturkörper und zwischen einem Principe, welches seine Existenz außerhalb der Natur hat, aber die Existenz der natürlichen Dinge bestimmt. Für jetzt erscheint Gott nur als der Grund der Gesetzmäßigkeit, welche alles Geschaffene durchdringt. Es fragt sich, wie Gott nach den Resultaten der Naturforschung genauer zu denken ist.

Da die Gesetzmäßigkeit der Natur eine umfassende und einheitliche ist, so muß Gott zuerst als Einheit gedacht werden; als Eines Wesen unterscheidet er sich von der Gesammtheit des Geschaffenen und steht außerhalb dieser Gesammtheit. Ist Gott aber der Grund der Gesetzmäßigkeit der Natur, so ist er zugleich der Inbegriff alles Gesetzes und Maaßes; er ist, um menschliche Eigenschaften zur Vergleichung anzuwenden, die absolute Vernunft. Für die göttliche Vernunft kann es selbst wieder keinen Grund der Existenz geben, als Gott selbst; denn

Digitized by Google

sonst träte Gott in den Kreis der beschränkten und abgeleiteten, vernünftigen Geschöpfe.

Ist Gott die absolute Vernunft und ist er dieses nur durch sich selbst, so entsteht weiter die Frage, worauf die Existenz Gottes überhaupt beruhe. Und hier ist zuerst wieder darauf hinzuweisen, daß von einer absoluten Materie, welche ursprünglich vorhanden und durch Gott erst geformt worden wäre, nicht die Rede sein kann. Weiter haben wir gezeigt, daß kein natürliches Individuum in sich den vollen Grund seiner Existenz enthält, sondern daß alle Individuen auf einen Grund hinweisen, der außer ihnen liegt. Darum kann in der Gesammtheit aller Naturkörper ebenso wenig der Grund ihrer Existenz überhaupt, als der Grund ihrer Gesetzmäßigkeit liegen; sondern die Natur im Ganzen weist auf einen Grund ihrer Existenz hin, der außer ihr gesucht werden muß. So gelangen wir für die Existenz der Dinge, wie für ihre Gesetzmäßigkeit auf ein Princip, das außerhalb der Dinge steht, und das, sofern es der gemeinsame Grund aller Existenz ist, nur als Einheit gedacht werden kann. Es wäre widersinnig, ein eigenes Princip der Gesetzmäßigkeit und ein eigenes Princip der Existenz anzunehmen; kommt diesen beiden Principien die Einheit als wesentlich zu, so sind sie nur in Einem Wesen, als Attribute des Einen, absoluten Gottes zu denken. Gott ist also auch der absolute Grund der Existenz der Dinge, und er ist ebendamit der Grund seiner eigenen Existenz.

Gott ist nach allem diesem das Eine, absolut vernünftige und absolut existirende Wesen. Aber diese Eigenschaften Gottes sind nothwendig noch mit anderen verbunden. Als absolute Vernunft hat Gott das absolute Wissen seiner selbst und der geschaffenen Dinge; er ist allweise. Als absoluter Grund der Existenz hat er allein die absolut freie Bestimmung über seine eigene Existenz und über die Existenz der Natur; er ist allmächtig. Faßt man die Beziehung Gottes zur Welt nach diesen beiden Seiten zugleich auf, denkt man

Digitized by Google

Gott zugleich als Grund der Existenz und der Gesetzmäßigkeit der Welt, so erscheint Gott im vollen Sinne als Schöpfer. Aber er hat die Welt nach ihrer Erschaffung nicht, wie eine Maschine, sich selbst überlassen; sondern zu ihrer Existenz ist sein ununterbrochenes Wirken nothwendig, und Gott wirkt fort als Erhalter der Welt. So findet sich bei Gott die höchste Vereinigung der geschaffenen Individuen mit ihrem absoluten Grunde. Gott unterscheidet sich von der Welt als die absolute Einheit; aber die Existenz der Welt ruht nur in dem schöpferischen Willen Gottes. Wir haben den Menschen, sofern er das Bewußtsein von dem Zusammenhange der geschaffenen Individuen mit ihrem Ursprunge hat, als persönliches Wesen bezeichnet. Gott ist die absolute Persönlichkeit, weil er den Zusammenhang zwischen Gott und Welt nicht nur mit absoluter Klarheit weiß, sondern auch durch seinen absoluten Willen hervorbringt. Gott ist endlich absoluter Geist, sofern seine eigene Existenz, sammt der Existenz der Welt auf ihm als dem absoluten Grunde ruht.

Die Welt steht der absoluten Einheit des göttlichen Wesens nicht als absolute Vielheit, dem absolut freien Schöpfer nicht als eine absolut gebundene gegenüber. Sondern die Gesammtheit des Geschaffenen besteht aus Individuen, welche die Einheit und die Freiheit des göttlichen Wesens mit verschiedener Vollkommenheit abspiegeln. Die Einheit bleibt bei allen Individuen noch eine äußerliche und prägt sich nur in ihrer räumlichen Abgeschlossenheit, in ihrer Gestalt aus. Ebenso wird die Freiheit nicht zum eigenen Besitze der Individuen; sondern sie wird ihnen als individuelle Eigenthümlichkeit anerschaffen. Einheit und Freiheit bleiben daher bei den Gestirnen, wie bei den Organismen noch ganz im Grunde ihrer Existenz, in Gott beschlossen. Beim Menschen erst werden sie zum Besitze des Individuums selbst, und dadurch erhebt sich das menschliche Individuum zur Person. Aber diese von Gott verliehenen Eigenschaften beherrschen beim Menschen nicht die ganze Existenz, sondern nur die bewußte Seelenthätigkeit. Der Mensch

Digitized by Google

als Ganzes weist, wie jedes Geschöpf, auf Gott als den Grund seiner Existenz hin, und er unterscheidet sich als Person von den Individuen eben dadurch, daß er in sich das Bewußtsein des göttlichen Ursprunges trägt. Diese Mittheilung göttlicher Eigenschaften an geschaffene Wesen kann nur aus der absoluten Güte des freischaffenden Gottes erklärt werden.

Weisheit, Macht und Güte sind in der Einleitung als die göttlichen Eigenschaften erklärt worden, welche sich in der Natur offenbaren. Wir glauben bewiesen zu haben, daß diese Attribute sich aus der Betrachtung der Natur mit Nothwendigkeit ergeben. Der Gang des Beweises aber wird durch die letzte Zusammenfassung auch für diejenigen klar geworden sein, welchen sich das Band des Ganzen unter den Einzelheiten der Darstellung bisweilen zu verlieren schien. Gott offenbart sich in der Natur nicht blos da oder dort; er offenbart sich nicht blos auf einzelne Weisen; sondern an allen Punkten der Natur treten seine Eigenschaften klar vor die Seele. Darum haben wir alle Naturgebiete in den Kreis der Betrachtung aufgenommen; die allgemeinen Naturkräfte, die Gestirne, unser Planet sind nicht weniger Offenbarungen Gottes, als die Pflanze, das Thier und der Mensch. Keines dieser Gebiete darf denjenigen überlassen bleiben, welche die Existenz der Natur aus einer unbewußten Kraft oder aus dem nackten Begriffe erklären zu können glauben. Alle Reiche, alle Seiten der Natur müssen aufgeboten werden, um für das Dasein und Wirken des Einen Gottes zu zeugen.

Auf jeder Stufe der Betrachtung trat das göttliche Wirken wieder in neuer Weise hervor. In den allgemeinen Eigenschaften und Kräften der Natur bedingt es nur die allgemeine, abstrakte Gesetzmäßigkeit des Geschaffenen. Erst in den Individuen erhalten die göttlichen Gedanken volle Wirklichkeit. Und hier prägen sich in der Welt der Gestirne wieder die allgemeinsten Naturgesetze mit Strenge, aber auf die großartigste Weise aus. Im organischen Reiche wird durch die größere Freiheit

der Gestalt die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen und ebendamit die Harmonie des Ganzen bedeutend erhöht. Im Menschen endlich wird die individuelle Einheit und Freiheit zu einem Besitze des Individuums selbst; sittliche Lebenszwecke treten an die Stelle der organischen. So stellen die sieben Abschnitte, in welche wir den ganzen Gegenstand unserer Untersuchung getheilt haben, eine Folge von Stufen dar, von welchen immer die nächste höher liegt, als die vorhergehenden. Jede neue Stufe ruht auf den vorherigen; aber sie wird zur höheren Stufe nur durch die neue und höhere Weise der göttlichen Offenbarung. Vorzüglich ist es die göttliche Güte, welche auf dieser Stufenleiter in immer hellerem Glanze aus den Naturerscheinungen hervorleuchtet, bis endlich ihr Licht über das menschliche Wesen sich in seiner ganzen Fülle verbreitet.

Wie der Mensch allein seinen Gott kennt und fühlt, so ist nur ihm die Gabe verliehen, in der Natur überall die Offenbarungen Gottes zu erforschen und zu finden. Darum entspringt aus der Natur eine immer neue Befestigung und Stärkung des angeborenen Gottesbewußtseins. Aber zugleich wird das sittliche Gefühl des Menschen klarer und sicherer durch die richtige Auffassung der Stelle, die der Mensch in der göttlichen Schöpfung einnimmt. Als das höchste Geschöpf unserer planetarischen Welt und doch als endliches, geschaffenes Wesen, als ein vernünftiges und freiwollendes Geschöpf und doch als ein hilfsbedürftiges, auf die göttliche Liebe sich stützendes Wesen fühlt sich der Mensch zugleich erhoben und gedemüthigt. Als das höchste Ziel seiner Thätigkeit erkennt er, zur Ausführung der göttlichen Zwecke in der Schöpfung mitzuwirken; aber er ist sich bewußt, daß er dieses Ziel nur in einer dauernden Gemeinschaft mit Gott, nur durch die stärkende und ermunternde, göttliche Liebe zu erreichen vermag. So bereitet sich der Mensch zu einer sittlichen Harmonie seines Wesens vor, welche die natürliche Harmonie der geschaffenen Dinge bei Weitem übertrifft.

Digitized by Google

Inhalt des zweiten Bandes.

Vierter Abschnitt.

Seite

Das Reich des Organischen im Allgemeinen 1

1. Die Organismen und der Planet 6
(Chemisches Verhalten S. 6. — Cohäsion S. 15. — Bewegung S. 17.)

2. Organismus und Krystall 22

3. Die organische Zelle 29
(Grundform S. 29. — Endosmose S. 33. — Bewegung S. 39. — Wachsthum und Fortpflanzung S. 42. — Tod S. 49.)

4. Die organische Species 51

Uebersicht 58

Fünfter Abschnitt.

Die Pflanze 80

1. Pflanze und Thier 82

2. Die allgemeinen Verhältnisse des Pflanzenlebens . 90
(Ernährung S. 90. — Athmung S. 95. — Wachsthum S. 101. — Fortpflanzung S. 103. — Wärme S. 109. — Bewegung S. 111. — Humus S. 119.)

3. Der innere Bau der Pflanze 121
(Verdickung der Zellenhülle S. 122. — Zellenformen S. 125. — Schwingende Wimper S. 132. — Verschiedene Zellenverbindung S. 134. — Gewebe und ihre Anordnung S. 138.)

4. Die äußere Form der Pflanze 142
(Der Keim S. 142. — Das Blatt S. 145. — Blattstellung S. 148. — Der Stengel S. 155. — Pflanzenmetamorphose S. 157. — Die Blüthe S. 158. — Befruchtung S. 170.)

5. Die natürlichen Gruppen des Pflanzenreichs . . . 175
(System S. 175. — Kryptogamen und Phanerogamen S. 178.

Digitized by Google

Seite

— Geologische Folge der Gefäßpflanzen S. 181. — Jetzige Vertheilung der Pflanzen S. 188. — Die wichtigsten Pflanzenfamilien S. 190.)

Uebersicht 203

Sechster Abschnitt.

Das Thier 225

1. Die allgemeinen Verhältnisse des thierischen Lebens 228
(Stoffwechsel S. 228. — Sinnesthätigkeit S. 239. — Wärme- und Lichtentwicklung S. 242. — Bewegung S. 245. — Elektricität S. 248.)

2. Die Gewebe der Thiere 252
(Blut S. 255. — Drüsen S. 264. — Nerven S. 266. — Muskel S. 275. — Schwingende Wimper S. 282. — Bindegewebe S. 286. — Epithelien S. 290. — Skelet S. 293.)

3. Die zusammengesetzten Organe der Thiere 299
A. Die Organe der Verdauung 302
(Die chemische Veränderung der Speisen S. 303. — Die mechanische Fortbewegung S. 311. — Die Zerkleinerung S. 317.)
B. Die Organe der Athmung 324
C. Die Organe der Absonderung 337
(Bau der Drüsen S. 337. — Bedeutung der Absonderungsstoffe S. 343. — Gifte S. 347.)
D. Die Organe des Kreislaufes 352
(Herz S. 353. — Gefäße S. 356. — Verschiedene Einrichtungen S. 364.)
E. Die Sinnesorgane 370
(Auge S. 372. — Ohr S. 380. — Geruch, Geschmack und Hautsinn S. 385.)
F. Die elektrischen Organe 389
G. Die äußeren Bewegungsorgane 395
(Das Skelet S. 396. — Die Muskel S. 402. — Die elastischen Bänder S. 405. — Schwimmen S. 407. — Kriechen S. 414. — Schreiten S. 415. — Fliegen S. 419. — Graben S. 424. — Ergreifen S. 425.)
H. Die Centralorgane des Nervensystemes 429
(Unbewußte Aktionen S. 432. — Bewußte Thätigkeiten S. 434.)

4. Die natürlichen Gruppen des Thierreiches 442

Digitized by Google

Seite
(Protozoen S. 444. — Wirbellose Thiere S. 445. — Wirbelthiere S. 452. — Geologische Folge S. 459. — Jetzige Vertheilung S. 461.)
Uebersicht 463

Siebenter Abschnitt.

Der Mensch 485
1. Der menschliche Körper 489
A. Bewegungsorgane 492
(Kopf und Wirbelsäule S. 492. — Beine S. 495. — Arm und Hand S. 496. — Zunge S. 500.)
B. Centralorgane des Nervensystems 503
C. Geographische Verbreitung 507
(Species S. 507. — Rassen S. 512.)
2. Die menschliche Seele 518
(Selbstbewußtsein S. 518. — Gottesbewußtsein S. 520. — Freier Wille und Gewissen S. 520. — Selbstgefühl S. 522. — Vernunft S. 523. — Persönlichkeit S. 524. — Gesellschaft S. 525. — Verstand S. 526. — Phantasie S. 527. — Macht über die Natur S. 528. — Die göttliche Liebe S. 529.)
Uebersicht 530

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google